

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Patentschrift
11 DE 3019425 C2

51 Int. Cl. 3:
G02 B 5/14

21 Aktenzeichen: P 30 19 425.3-51
22 Anmeldetag: 21. 5. 80
43 Offenlegungstag: 27. 11. 80
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 9. 5. 85

DE 3019425 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität: 32 33 31
21.05.79 JP P62467-79

73 Patentinhaber:
Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.,
Tokio/Tokyo, JP

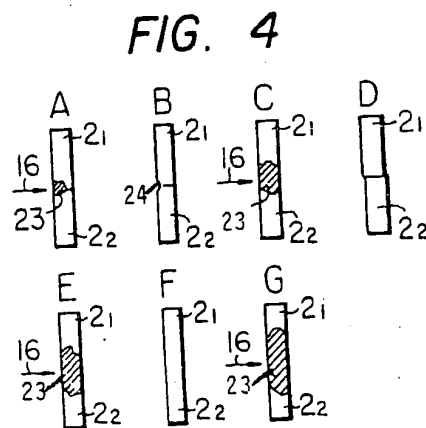
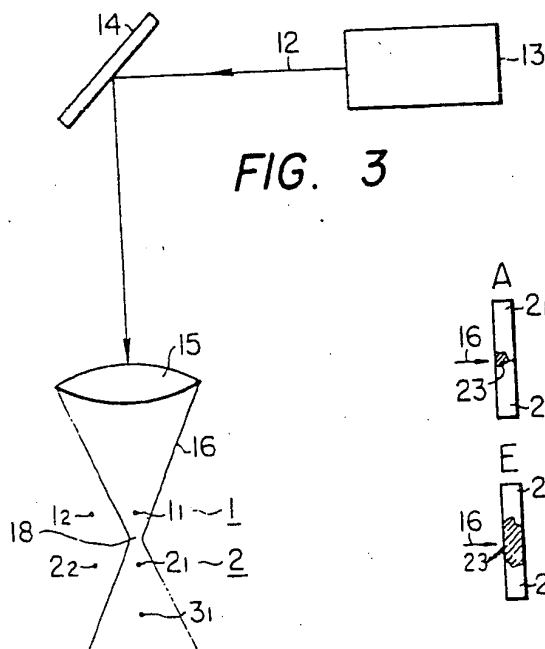
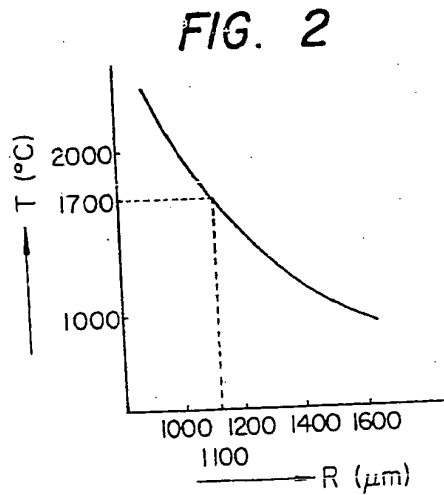
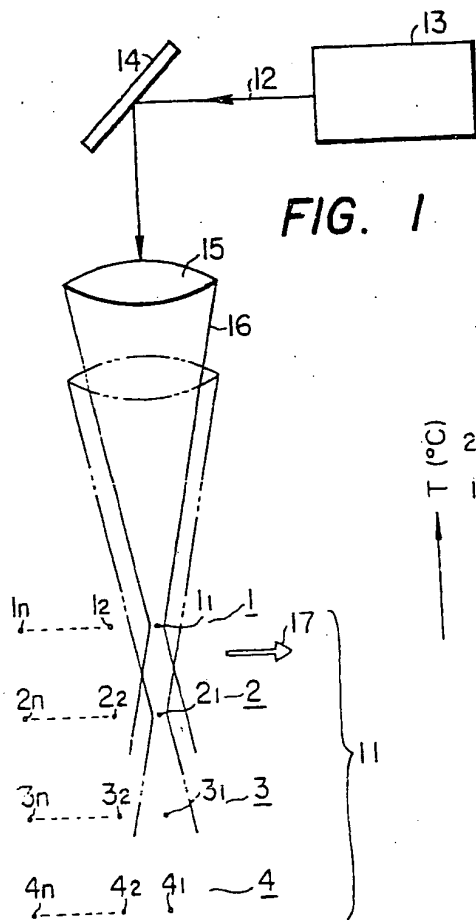
74 Vertreter:
Blumbach, P., Dipl.-Ing.; Zwirner, G., Dipl.-Ing.
Dipl.-Virtsch.-Ing., 6200 Wiesbaden; Weser, W.,
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Kramer, R., Dipl.-Ing.;
Hoffmann; E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000 München

72 Erfinder:
Kinoshita, Kyoichi; Kobayashi, Morio, Mito, Ibaraki,
JP

56 Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:
DE-OS 27 15 443
DE-OS 26 40 422

54 Verfahren zum Verbinden optischer Fasern und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

DE 3019425 C2



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Verbinden von mit ihren Stirnflächen aufeinander ausgerichteten und aneinanderstoßenden optischen Fasern durch Verschmelzen mittels eines konvergenten Lichtstrahlenbündels, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Verschmelzen der optischen Fasern (1, bis 4_a) wenigstens zweier Faserbündel (51, 52) folgende Schritte umfaßt:

- a) die zu verschmelzenden Fasern werden so angeordnet, daß ihre jeweiligen Verbindungsstellen eine räumliche Matrix mit wenigstens zwei zur Achse des Lichtstrahlenbündels (16) senkrechten Schichten mit je mehreren Verbindungsstellen bilden.
- b) der Brennfleck (18) des Lichtstrahlenbündels wird relativ zu den Verbindungsstellen in einer ersten, zu den Schichten senkrechten Richtung und einer zweiten, zu ihnen parallelen Richtung bewegt, um nacheinander die jeweiligen Fasern an den einzelnen Verbindungsstellen zu verschmelzen,
- c) Schritt b) wird unter Verwendung eines Laserstrahlenbündels durchgeführt, dessen Durchmesser in einer ersten Schicht, die benachbart über bzw. unter einer zweiten Schicht liegt, in welcher gerade Fasern verschmolzen werden, mehr als das 1,1-fache des Durchmessers in der zweiten Schicht beträgt, so daß im Bereich der ersten Schicht die Schmelztemperatur des Fasermaterials nicht erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtstrahlenbündel während des Verschmelzens mit konstanter Geschwindigkeit in einer Richtung senkrecht zu den Achsen der zu verbindenden Fasern relativ zu diesen bewegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit 10 bis 20 µm/s beträgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser des Lichtstrahlenbündels an der Stelle, der die zu verschmelzenden Fasern ausgesetzt sind, das fünf- bis zehnfache des Außendurchmessers der optischen Fasern beträgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zum gleichzeitigen Verbinden der Fasern an zwei in Richtung der Achse des Lichtstrahlenbündels übereinander liegenden Verbindungsstellen zweier benachbarter Schichten der Brennfleck des Lichtstrahlenbündels etwa auf die Mitte zwischen den beiden Verbindungsstellen eingestellt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen zwei benachbarten Schichten von Verbindungsstellen nicht mehr als 5 mm, vorzugsweise im Bereich von 1 bis 3 mm beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stirnflächen der zu verbindenden Fasern nach Ausrichtung zunächst in gegenseitige Berührung gebracht und nachfolgend weiter um 5 bis 10 µm zur Erzeugung eines Anpreßdrucks gegeneinander bewegt und

dann festgelegt werden, bevor die Verschmelzung erfolgt.

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

eine Ausrichtschablone (91 bis 93) zur Aufnahme und Ausrichtung der zu verbindenden Fasern der Faserbündel (51, 52) derart, daß die jeweiligen Verbindungsstellen der Fasern eine räumliche Matrix mit wenigstens zwei zur Achse des Lichtstrahlenbündels senkrechten Schichten mit je mehreren Verbindungsstellen bilden,

eine Lichtquelle (13) zur Erzeugung des Lichtstrahlenbündels (16),

eine Optik (15) zur Fokussierung des Lichtstrahlenbündels derart, daß der Durchmesser des Lichtstrahlenbündels in einem dem Abstand zwischen zwei benachbarten Schichten der Matrix entsprechenden axialen Abstand von der zum Verschmelzen verwendeten Stelle des Lichtstrahlenbündels mehr als das 1,1-fache des Durchmessers an jener Stelle beträgt, und

eine erste Vorschubeinrichtung (142, 54 bis 62; 124 bis 127) zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen der Optik (15) und der Ausrichtschablone (91 bis 93) in einer zu den Achsen der Fasern und zur Achse des Lichtstrahlenbündels (16) im wesentlichen senkrechten Richtung sowie eine zweite Vorschubeinrichtung (46) zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen der Optik (15) und der Ausrichtschablone (91 bis 93) in Richtung des Lichtstrahlenbündels (16).

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Optik (15) so ausgebildet ist, daß der Durchmesser des Lichtstrahlenbündels (16) an der Verbindungsstelle zu verschmelzender Fasern das fünf- bis zehnfache des Außendurchmessers der Fasern beträgt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Optik (15) eine asphärische Linse mit großer Aberration enthält.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Optik (15) eine konische Linse (32) enthält.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Optik (15) einen Strahlenteiler (Spiegel 34) zur Aufspaltung des Lichtstrahlenbündels (12) von der Lichtquelle (13) in zwei Strahlenbündel (12a, 12b) aufweist und daß für jedes der beiden Strahlenbündel eine Sammeloptik (35a, 35b) vorgesehen ist, die so angeordnet sind, daß sich die sie verlassenden konvergenten Strahlenbündel (36a, 36b) schneiden, wobei die Brennebenen der beiden Sammeloptiken verschieden sind.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (13) ein CO₂-Laser ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, ferner gekennzeichnet durch eine Justiereinrichtung (64 bis 67) zur Einstellung der gegenseitigen Lage der zu verbindenden Fasern in Richtung der Faserachsen, umfassend eine Kabelaufnahmehülse (65) zur Aufnahme eines Faserbündels (52), welches in Richtung der Faserachsen bewegbar angeordnet und mittels eines elastischen Kraftspeichers (69) in Richtung auf ein anderes Faserbündel (51) vorgespannt ist, und einen einstellbaren Anschlag (72 bis 77) zur einstellbaren Begrenzung der Bewegung der

3

Kabelaufnahmehülse (65) und damit zur Einstellung des Anpreßdrucks zwischen den aneinanderstoßenden Stirnflächen der zu verbindenden Fasern.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der ersten Vorschubeinrichtung (142, 54 bis 62) die Ausrichtschablone (91 bis 93) bewegbar ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das aus der Lichtquelle austretende Lichtstrahlenbündel (12) mittels eines Umlenkspiegels (14) auf die Optik (15) gelenkt wird, und daß mittels der ersten Vorschubeinrichtung (124 bis 126) der Umlenkspiegel (14) in Richtung des aus der Lichtquelle (13) austretenden Lichtstrahlenbündels (12) bewegbar ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der zweiten Vorschubeinrichtung (46) die Optik (15) bewegbar ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausrichtschablone (91 bis 93) zwei Ausrichtblöcke (91, 92) aufweist, von denen jeder die Fasern (1 bis 4, 21) eines Faserbündels (51, 52) parallel zueinander in der vorgegebenen Lage hält und daß die Ausrichtschablone die Ausrichtblöcke so justiert, daß optische Fasern beider Gruppen paarweise fluchten und mit ihren Stirnflächen aneinanderstoßen.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Ausrichtblock (91, 92) aus mehreren Ausrichtplatten (94 bis 96; 117, 118, 131 bis 134) aufgebaut ist und daß jede Ausrichtplatte die Fasern (1 bis 4, 21) einer Schicht (1 bis 4) des Faserbündels (51, 52) aufnimmt.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß sich entsprechende Ausrichtplatten (117a, 117b) beider Ausrichtblöcke (91, 92) fest miteinander so verbunden sind, daß die von beiden Ausrichtplatten aufgenommenen Fasern (1 bis 4, 21) paarweise miteinander fluchten.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verbinden optischer Fasern nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Das Verbinden bzw. Anspießen optischer Fasern, auch Lichtleiter genannt, ist eine der wichtigsten Techniken zur Realisierung optischer Übertragungssysteme. Zum dauerhaften Verbinden von Lichtleitern ist ein Verfahren bekannt, bei dem die Fasern mit einem Kleber verbunden werden. Weiterhin ist ein Verfahren bekannt, bei dem die Fasern miteinander verschmolzen werden, indem ihre aneinander stoßenden Enden erhitzt und zusammengeschmolzen werden. Dabei dient Lichtenergie als Hitzequelle. Das Verkleben läßt sich leicht sowohl beim Verbinden einzelner Fasern als auch beim Verbinden optischer Fasern durchführen, die in einer Reihe oder in einer Matrix angeordnet sind. Bei verklebten Lichtleitern ist jedoch das Altern des Klebers unvermeidbar, wodurch bei Langzeitgebrauch die Betriebssicherheit bzw. Zuverlässigkeit beeinträchtigt wird. Das Verfahren der Schmelzverbindung hat den Vorteil geringer Dämpfung der Verbindung und eines geringen Alterns des verschweißten Teils und ist daher sehr günstig. Als Hitzequelle für die Verschmelzung kann eine Licht-

bogenentladung, ein CO₂-Laser oder ähnliche Energiequellen eingesetzt werden. Lichtbogenentladungen können nicht eingesetzt werden, wenn man optische Fasern verbinden will, die in einer Reihe angeordnet sind und diese Energiequelle kann auch nicht zur Verbindung von Lichtleitern verwendet werden, die in einer Matrix bzw. einer räumlichen Konfiguration angeordnet sind. Bei diesen Verfahren benötigt daher die Verschmelzung und anschließende Verstärkung bzw. Versteifung von verschmolzenen bzw. verschweißten Fasern viel Zeit. Außerdem besteht die Gefahr, daß Elektrodenmaterial die Verbindungsstelle verschmutzt bzw. verunreinigt. Schließlich kann dieses Verfahren nicht in einer Umgebung durchgeführt werden, in der die Bogenentladung instabil wird. Da darüberhinaus die Verbindungspunkte der optischen Fasern einer nach dem anderen verstärkt bzw. versteift werden müssen, ist es unvermeidbar, daß die Verbindungspunkte wegen der Versteifung voluminös werden. Dieses Verfahren erfüllt daher die Forderungen für ein genaues und schnelles Verbinden optischer Fasern nicht vollkommen.

Die Benutzung von CO₂-Lasern als Hitzequelle für die Schmelzverbindung optischer Fasern ist beispielsweise aus der FR-PS 23 23 646 bekannt. Obgleich dieses Verfahren die Nachteile der Bogenentladung nicht aufweist und auch für die Verbindung von mehreren Fasern in sog. Lichtleiterkabeln benutzbar ist, da man die Parallelität und die Ausrichtung des Laserstrahls ausnutzt, sind bisher nicht alle Vorteile dieses Verfahrens ausgenutzt worden. Dieses Verfahren wurde für die Verbindung von Einzelfasern oder für die Verbindung von mehreren Lichtleitern eingesetzt, die in einer Ebene oder in flachen Kabeln angeordnet sind. Bisher ist dieses Verfahren nicht einsetzbar für die Verbindung vieler optischer Fasern, die in Schichten angeordnet sind. Außerdem ist nachteilig, daß die für das Verbinden erforderliche Zeit größer ist, als die Zeit, die für eine Klebverbindung benötigt wird. Bei einem Verfahren, bei dem es erforderlich ist, ein mehrschichtiges Lichtleiterkabel in die einzelnen Fasern aufzuspalten, bevor sie verbunden werden können, ist eine merkliche zusätzliche Länge jeder Faser für die Verbindung erforderlich. Daraus resultieren ebenfalls voluminöse Verbindungspunkte und der Vorteil des geringen Durchmessers des Lichtleiterkabels geht verloren.

Aus der DE-OS 26 40 422 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verbinden von optischen Fasern (Lichtleitfasern) bekannt. Hierbei werden zwei oder mehr an einer einzigen Verbindungsstelle miteinander zu verbindenden Fasern aufeinander ausgerichtet und — zumindest im Fall von zwei zu verbindenden Fasern — mit ihren Stirnflächen aneinander gestoßen. Diese Verbindungsstelle oder Stoßstelle zwischen den Fasern wird der engsten Stelle oder einem dieser sehr nahen Bereich eines mittels einer Optik zur Konvergenz gebrachten Laserstrahlenbündels ausgesetzt, um die aneinanderstoßenden Faserenden miteinander zu verschmelzen. Dabei ist vorgesehen, daß — je nach Qualität der Stirnflächen der zu verbindenden Fasern — diese in einem geringen Abstand voneinander gehalten werden, um sich infolge der Erwärmung aufeinander zu dehnen zu können, drucklos in gegenseitige Anlage gebracht werden oder während des Verschmelzens aufeinander zu bewegt werden. Eine Möglichkeit des Verbindens der einzelnen Fasern zweier oder mehrerer Faserbündel ist in der genannten Druckschrift nicht erwähnt.

Die DE-OS 27 15 443 beschreibt ein ähnliches Ver-

fahren und die dazu gehörige Vorrichtung, wobei jedoch die jeweiligen Faserenden nicht mit Hilfe eines Lichtstrahlenbündels, sondern mit Hilfe einer Mikroplasmaflamme verschmolzen werden. Die in dieser Druckschrift gezeigte Vorrichtung umfaßt eine Ausrichtschablone mit zwei Ausrichtblöcken, die je in einer einzigen Reihe nebeneinander liegend einzelne Fasern eines jeweiligen Faserbündels in gegenseitiger Ausrichtung halten. Die Mikroplasmaflamme wird in einer zu ihrer eigenen Achse und zu den Faserachsen senkrechten Vorschubrichtung von einer Verbindungsstelle zwischen zwei Fasern zur nächsten bewegt, um die Fasern der jeweiligen Faserpaare nacheinander miteinander zu verschmelzen. Die jeweils zu verschmelzenden Faserenden stehen dabei unter leichtem Druck in gegenseitigem Kontakt. Die Mikroplasmaflamme wird mit konstanter Geschwindigkeit über die Verbindungsstellen geführt, wobei gegebenenfalls der Brenner über jeder Faser kurz angehalten wird.

Auf dieser Grundlage liegt die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine zu seiner Durchführung geeignete Vorrichtung zu schaffen, die auch bei einer größeren Anzahl zu verbindender Fasern ohne übermäßigen Aufwand einsetzbar sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der Ansprüche 1 bzw. 8 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erhält man eine merkliche Verringerung der Zeit, die für die Verbindung vieler Fasern erforderlich ist, ohne die hohe Qualität und die große Zuverlässigkeit der Schmelzverbindung zu verlieren.

Trotz Anordnung der Fasern in einer räumlichen Matrix ist sichergestellt, daß nacheinander nur einzelne, ausgewählte optische Fasern durch Verschmelzen verbunden werden und daß optische Fasern, die momentan der Verschmelzung nicht ausgesetzt sind, durch den Lichtstrahl nicht beeinträchtigt werden, der eine andere optische Faser gerade verschmilzt.

Schließlich wird eine übermäßige Verdickung der Verbindungspunkte der optischen Fasern vermieden und ein einfaches Verstärken bzw. Versteifen ermöglicht.

Zu betonen ist noch, daß das erfindungsgemäße Verfahren ein genaues Faserverspleißen mit einer relativ kleinen Lichtenergie ermöglicht.

Bei einer vorteilhaften Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens werden die erste und die zweite Gruppe (Faserbündel), die jeweils aus einer Vielzahl von in Schichten angeordneter optischer Fasern aufgebaut sind, jeweils von einem ersten und einem zweiten Ausrichtblock so gehalten, daß die optischen Fasern jeder Gruppe in einer vorgegebenen Stellung und parallel zueinander sind, wobei ihre freien Enden aus einer Seite des betreffenden Ausrichtblocks herausstehen. Der erste und zweite Ausrichtblock hält die optischen Fasern in der gleichen räumlichen Konfiguration. Demzufolge fluchten einander entsprechende optische Fasern der beiden Gruppen, die paarweise verbunden werden sollen, miteinander und ihre Stirnflächen werden mittels einer Ausrichtschablone aneinandergestoßen. Der erste und zweite Ausrichtblock und die Ausrichtschablone können auch als einstückiges Bauteil gefertigt sein.

Vorzugsweise können die optischen Fasern wenigstens einer Gruppe, die von dem ersten oder zweiten Ausrichtblock gehalten werden, mit einem elastischen

Kraftspeicher in Faserachsenrichtung bewegt und bezüglich der Stirnflächen der optischen Fasern der anderen Gruppe genau justiert werden. Damit können die Stirnflächen der optischen Fasern der beiden Gruppen mit einem vorgegebenen Anpreßdruck aneinandergedrückt werden.

Als Lichtquelle kann ein CO₂-Laser dienen, dessen Lichtstrahl von den optischen Fasern absorbiert wird und diese erhitzt. Der Brennfleck des Lichtstrahls wird von einer Optik auf die aneinanderliegenden Stirnflächen der optischen Fasern fokussiert, die miteinander zu verschmelzen sind. Der Brennfleck des fokussierten Lichtstrahls liegt im Bereich einer Verbindungsstelle aneinanderliegender Fasern oder im Bereich von zwei vertikal unmittelbar übereinanderliegenden Verbindungspunkten. Dabei ist der Lichtstrahldurchmesser für Verbindungsstellen, die momentan nicht verschmolzen werden sollen, größer als der Durchmesser des Fokus bzw. Brennflecks im Bereich aneinanderliegender Fasern, die in diesem Betriebszustand verschmolzen werden. Die durch Erhitzung mit dem Lichtstrahl erzielte Temperatur der momentan nicht zu verschmelzenden Verbindungspunkte erreicht daher den Schmelzpunkt der dort aneinanderliegenden Fasern nicht. Dies bedeutet mit anderen Worten, daß bei einem Abstand der Mittelpunkt optischer Fasern von aneinanderliegender Schichten von etwa ein bis fünf Millimeter der Durchmesser des Brennflecks im Bereich der zu verschmelzenden Faserenden so ausgewählt werden kann, daß die Lichtenergie eine Temperatur erzeugt, die größer als die Schmelztemperatur ist. Hingegen läßt sich der Durchmesser des Lichtstrahls für Fasern anderer Schichten, die ungefähr 1 mm von den zu verschmelzenden Faserenden entfernt sind, so vergrößern, daß die Fasern dieser Schichten von dem Lichtstrahl nicht geschmolzen werden. Weiterhin ist es für eine Schmelzverbindung mit geringer Dämpfung und guter Reproduzierbarkeit günstig, den Durchmesser des Brennflecks im Bereich der miteinander zu verschmelzenden Faserenden so einzustellen, daß er etwa 5- bis 10mal größer als der Durchmesser der Faser ist. Vorzugsweise wird hierzu eine Optik mit einer asphärischen Fokussierung bzw. Sammellinse mit großer Aberration erreicht. Bewährt hat sich als Optik auch die Kombination einer konischen Linse mit einer konvex-konkaven Linse, die auch als Meniskus-Linse bezeichnet wird. Die Optik kann auch einen Spiegel aufweisen, der den Lichtstrahl in zwei Strahlen aufspaltet. Die beiden Lichtstrahler werden in einen Bereich mit zwei Optiken fokussiert, die unterschiedliche Brennpunkte besitzen.

Die beiden optischen Fasergruppen, die in beschriebener Weise mittels der Ausrichtblöcke und der Ausrichtschablone in Eingriff gebracht und gehalten sind und die Optik werden relativ zueinander in einer Richtung bewegt, die senkrecht zur Faserachse ist. Dadurch werden nach Wahl einer bestimmten Schicht optische Fasern der optischen Fasern dieser Schicht nacheinander dem Brennfleck des fokussierten Lichtstrahls ausgesetzt und eine nach der anderen verschmolzen. Anschließend wird der Brennfleck des fokussierten Lichtstrahls auf die benachbarte Schicht von Fasern gerichtet, wobei die Bewegung senkrecht zur ersten Relativbewegung erfolgt und anschließend werden die optischen Fasern dieser Schicht in der oben beschriebenen Weise ebenfalls eine nach der anderen miteinander verschmolzen. Vorzugsweise werden die miteinander zu verbindenden Enden optischer Fasern allmählich bzw. gleichförmig erhitzt und abgekühlt. Für die optische

Fasern einer Schicht erreicht man dies, indem der Brennfleck des fokussierten Lichtstrahls kontinuierlich über die aneinanderliegenden Faserenden bewegt wird. Dabei wird die Geschwindigkeit des Strahls konstant gehalten und liegt vorzugsweise zwischen 10 und 20 $\mu\text{m/s}$. Um die Zeit zu verringern, die für das Verschmelzen vieler Fasern benötigt wird, kann die Geschwindigkeit des Brennflecks größer gewählt werden, wenn dieser den Bereich zwischen benachbarten optischen Fasern überstreicht.

Im folgenden werden das erfindungsgemäße Verfahren und Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens beispielhaft anhand der Fig. 1 bis 21 näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 das Prinzip der Verschmelzung in jeder Schicht bei optischen Fasern, die in Schichten angeordnet sind;

Fig. 2 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen dem Durchmesser des gebündelten Lichtstrahls und der maximalen Erhitzungstemperatur im Bereich einer optischen Faser darstellt, die sich im Strahlengang über einer optischen Faser befindet, die gerade dem Verschmelzungsprozeß unterzogen wird;

Fig. 3 das Prinzip, nach dem optische Fasern, die in zwei Schichten liegen, gleichzeitig verschmolzen werden können;

Fig. 4A, 4C, 4E, 4G nach Fotografien angefertigte Skizzen von optischen Fasern, die durch gebündelte Lichtstrahlen verschiedenen Durchmessers erhitzt wurden;

Fig. 4B und 4F nach Fotografien angefertigte Skizzen von Verbindungsbereichen nach der Verschmelzung, die den Fig. 4A und 4E entsprechen;

Fig. 4D in einer Skizze nach einer Fotografie den Zustand der beiden aneinanderliegenden optischen Fasern vor der Verschmelzung entsprechend Fig. 4E;

Fig. 5 in einem Diagramm die Beziehung zwischen dem Durchmesser eines durch eine gewöhnliche Meniskus-Linse gebündelten Lichtstrahls und den optischen Fasern, die in Schichten angeordnet sind;

Fig. 6 in einem Diagramm den Durchmesser eines mit einer asphärischen Linse mit großer Aberration gebündelten Lichtstrahls in der Umgebung des Fokus bzw. Brennpunkts;

Fig. 7 in schematischer Darstellung einen gebündelten Lichtstrahl und in Schichten angeordnete optische Fasern, wobei mit einer entsprechenden Vorrichtung Versuchsergebnisse erzielt wurden, über die später berichtet wird;

Fig. 8 in schematischer Darstellung ein Beispiel einer Optik, die eine konische Linse und eine Konvex-Konkav- bzw. Meniskus-Linse enthält;

Fig. 9 in schematischer Darstellung ein weiteres Beispiel einer Optik, die Spiegel enthält;

Fig. 10 die Seitenansicht eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 11 in perspektivischer Darstellung eine Ausrichtschablone, wie sie in der Vorrichtung nach Fig. 10 verwendet wird;

Fig. 12 in perspektivischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines Ausrichtblocks 92;

Fig. 13 in einem Diagramm die Veränderung der Dämpfung während der Verschmelzung;

Fig. 14 in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel von Verstärkungs- bzw. Versteifungselementen ähnlich einer Kabelmuffe für die Verschmelzungsstelle eines Lichtleiterkabels;

Fig. 15 in perspektivischer Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel des Ausrichtblocks 92 zur Ausrichtung optischer Fasern für mehrere Schichten;

Fig. 16 in perspektivischer Darstellung zwei miteinander verbundene Ausrichtplatten;

Fig. 17 die Seitenansicht einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die Optik während des Verschmelzens bewegt werden kann;

Fig. 18 beispielhaft den Querschnitt eines Lichtleiterkabels;

Fig. 19 im Querschnitt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Ausrichtblocks, der bei dem Lichtleiterkabel der Fig. 18 verwendet werden kann;

Fig. 20 ein Säulendiagramm der durch die Verschmelzung bewirkten Dämpfung;

Fig. 21 das Schaltbild einer Vorrichtung zur Steuerung der Geschwindigkeit eines Motors zum Antrieb einer beweglichen Grundplatte.

Die Grundzüge der Erfindung werden anhand von Fig. 1 beschrieben, die ein erstes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt. In Fig. 1 wird eine Gruppe optischer Fasern mit 11 bezeichnet. Die optischen Fasern 11 sind im Querschnitt dargestellt und liegen somit senkrecht zu der Zeichnungsebene. Die Gruppe 11 optischer Fasern enthält Schichten 1 bis 4, denen jeweils die optischen Fasern 1, bis 1_n, 2, bis 2_n, 3, bis 3_n und 4, bis 4_n zugeordnet sind. Die optischen Fasern jeder Schicht 1 bis 4 sind in horizontaler Richtung nebeneinander und in gleichem Abstand zueinander angeordnet und die einander entsprechenden optischen Fasern der Schichten 1 bis 4 liegen auf den gleichen vertikalen Linien. Die Gruppe 11 ist der Bestrahlung durch einen Lichtstrahl 16 ausgesetzt. Eine Lichtquelle 13 sendet einen Lichtstrahl 12 aus, der von den optischen Fasern der Fasergruppe 11 absorbiert wird und diese erhitzt. Die Lichtquelle 13 kann beispielsweise ein CO₂-Laser sein, von dem ein Lichtstrahl 12 in horizontaler Richtung ausgesendet und von einem Spiegel 14 in vertikale Richtung umgelenkt wird. Der reflektierte Lichtstrahl 12 wird durch eine Optik 15 gebündelt. Befindet sich die Optik 15 in der mit der durchgehenden Linie gekennzeichneten Stellung, so wird der optische Strahl 16 am stärksten auf die oben gelegene Schicht, also auf die erste Schicht 1 fokussiert und bestrahlt deren optische Faser 1₁. Sind die Stirnflächen der optischen Faser 1₁ und ihres Gegenstücks im Bereich des Brennpunkts des Lichtstrahls 16 in Kontakt, so werden die aneinanderstoßenden Stirnflächen der optischen Fasern durch den gebündelten Lichtstrahl 16 erhitzt und miteinander verschmolzen. In diesem Fall bestrahlt der fokussierte Lichtstrahl 16 ebenfalls die optischen Fasern 2₁, 3₁ und 4₁, die unter der optischen Faser 1₁ liegen. In diesen Punkten ist jedoch die Konvergenz des fokussierten Lichtstrahls 16 geringer, d. h. der Lichtstrahl divergiert bereits wieder und deshalb werden die optischen Fasern 2₁, 3₁ und 4₁ nicht verschmolzen. Verschiebt man die Gruppe 11 unter Beibehaltung der Lage der optischen Fasern in seitlicher Richtung, wie durch den Pfeil 17 angedeutet, so werden die optischen Fasern 1₁ bis 1_n nacheinander durch den Brennpunkt geführt, in dem der Lichtstrahl 16 am stärksten gebündelt ist. Dadurch werden die n-optischen Fasern 1₁ bis 1_n der obersten Schicht 1 nacheinander mit ihren Gegenständen verschmolzen. Danach wird die fokussierende Optik 15 in die Position gebracht, die durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet ist, so daß der Lichtstrahl 16 am stärksten auf der optischen Faser 2₁ gebündelt ist und diese

mit ihrem Gegenstück verschmilzt. In diesem Fall hat der fokussierende Lichtstrahl 16 im Bereich der optischen Faser 1₁, die über der optischen Faser 2₁ liegt, einen größeren Durchmesser und seine Energiedichte ist daher schwächer als im Bereich der optischen Faser 2₁. Aus diesem Grund wird die optische Faser 1₁ nicht geschmolzen und die Energie des Lichtstrahls 16, die von der optischen Faser 1₁ absorbiert wird, ist im wesentlichen zu vernachlässigen. Wegen dieser Sachlage kann die Verschmelzung der optischen Faser 2₁ mit ihrem Gegenstück erfolgen. Es werden auch die optischen Fasern 3₁ und 4₁ wiederum von dem gebündelten Lichtstrahl 16 bestrahlt, aber wiederum nicht verschmolzen, da der Lichtstrahl 16 in diesen Bereichen einen geringen Konvergenzgrad und kleine Energiedichte aufweist. In der beschriebenen Art können die optischen Fasern jeder Schicht 1 bis 4 einzeln nacheinander mit ihren Gegenständen verschmolzen werden.

Fig. 2 zeigt die Ergebnisse der Berechnung für die höchste Temperatur T der optischen Faser 1₁ in Abhängigkeit vom Durchmesser R des fokussierten Lichtstrahls 16 im Bereich der optischen Faser 1₁, deren äußerer Durchmesser 150 μm beträgt. Dabei ist angenommen, daß sich die fokussierende Optik 15 in der in Fig. 1 mit gestrichelter Linie gekennzeichneten Stellung befindet und daß der Durchmesser des Brennpunkts des Lichtstrahls 16 im Verbindungsbereich, d. h. im Bereich der optischen Faser 2₁, gleich 800 μm beträgt und daß dabei die optische Faser 2₁ bei höchstens 2000°C verschmolzen wird und daß der fokussierte Lichtstrahl 16 und die optische Faser 2₁ relativ zueinander mit einer Geschwindigkeit von 15 mm/s bewegt werden. In Fig. 2 ist auf der Abszisse der Durchmesser R des fokussierten Lichtstrahls 16 im Bereich der optischen Faser 1₁ und auf der Ordinate die Temperatur T der optischen Faser 1₁ aufgetragen. Eine optische Faser, deren Hauptbestandteil Silicium ist, hat einen Schmelzpunkt im Bereich von 1700 bis 2000°C, so daß es genügt, wenn die Temperatur der optischen Faser 1₁ niedriger ist als dieser Schmelzpunkt, im Gegensatz zur Temperatur der optischen Faser 2₁, die verschmolzen werden soll. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, daß bei einer Temperatur von 1700°C der optischen Faser 1₁ der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls im Bereich der optischen Faser 1₁ gleich 1100 μm beträgt. Dementsprechend ist es ausreichend, wenn der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls 16 im Bereich der optischen Faser 1₁ größer als 1100 μm ist. Das bedeutet, daß es genügt, wenn der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls 16 im Bereich der benachbarten Fasern 1₁ gleich 1,4mal größer ist, als der 800 μm große Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls 16 im Bereich der Schmelzverbindung, d. h. im Bereich der optischen Faser 2₁. Diese Bedingung ist erforderlich, wenn im ungünstigsten Fall die einander entsprechenden optischen Fasern der Schichten 1 und 2 jeweils auf den gleichen vertikalen Linien liegen. Liegen dagegen die einander entsprechenden optischen Fasern nicht auf den gleichen vertikalen Linien, so wird die optische Faser 2₁ in einer Lage verschmolzen, bei der sich die optische Faser 1₁ außerhalb des Zentrums des fokussierten Lichtstrahls 16 befindet und die von ihr aufgenommene Lichtenergie gering ist. Folglich kann in diesem Fall der Durchmesser des Lichtstrahls, der die obere Schicht 1 optischer Fasern durchdringt, ungefähr nur 1,1mal größer sein als der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls, der auf die optische Faser 2₁ trifft. Wird beim Fokussieren des optischen Strahls dieser Bedingung genügt, so kann jede einzelne der optischen

Fasern verschmolzen werden und die anderen optischen Fasern werden vom Lichtstrahl nicht beeinflusst.

Es ist auch möglich, eine gleichzeitige Verbindung von optischen Fasern zweier Schichten zu erreichen. Ein Beispiel zeigt Fig. 3, in der Bauteile, die denen in Fig. 1 entsprechen mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind. Hier ist der fokussierte Lichtstrahl 16 so gelenkt, daß sich die Stelle mit dem kleinsten Durchmesser 18, d. h. der Brennfleck, in der Mitte zwischen benachbarten Schichten 1 und 2 optischer Fasern befindet. In diesem Fall ist der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls 16, der beispielsweise auf die optischen Fasern 1₁ und 2₁ beider Schichten 1 und 2 auftritt, klein genug, um eine Schmelzverbindung der optischen Fasern 1₁ und 2₁ zu erreichen. Der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls, der auf die weitere optische Faser 3₁ auftritt, ist jedoch bereits so vergrößert, daß die Temperatur der Faser 3₁, die aus der Erhitzung aufgrund des absorbierten Lichts resultiert, niedriger ist als deren Schmelzpunkt. So können die optischen Fasern 1₁ und 2₁ gleichzeitig verschmolzen werden.

Der Durchmesser des Lichtstrahls, der auf die durch Verschmelzen zu verbindende optische Faser auftritt, ist vorzugsweise 5- bis 10mal größer als der äußere Durchmesser dieser optischen Faser. Trifft, wie in Fig. 4A dargestellt, ein Lichtstrahl 16 mit einer Energie von 0,5 W senkrecht zur Faserachse auf eine optische Faser 2₁ mit dem Durchmesser von 150 μm auf und beträgt der Durchmesser des optischen Strahls in diesem Punkt der optischen Faser 2₁ gleich 194 μm , so werden die aneinanderstoßenden Stirnflächen der optischen Fasern 2₁ und 2₂ auf der dem Lichtstrahl 16 zugewandten Seite zum Glühen erhitzt, wie es die mit 23 in Fig. 4A bezeichnete Fläche verdeutlicht.

Fig. 4A, die eine Skizze nach einer Fotografie ist, zeigt das Glühen bzw. Leuchten des erhitzten Bereichs 23, der aneinanderstoßenden Stirnflächen und zeigt weiterhin, daß die dem Lichtstrahl abgewandte Seite nicht ausreichend erhitzt wird. Das bedeutet, daß die aneinanderstoßenden Stirnflächen nur in einem Teil miteinander verschmolzen sind und daß sich im Bereich der Verbindungsstelle der optischen Fasern auf der Seite des Einfalls des Lichtstrahls 16 eine Vertiefung 24 ausgebildet hat, die den Faserdurchmesser reduziert, wie in Fig. 4B dargestellt ist. Wählt man jedoch den Durchmesser des Lichtstrahls 16 mit 680 μm , also ungefähr 5mal größer als den äußeren Durchmesser der optischen Fasern 2₁ und 2₂, dann kommen die vom Lichtstrahl erfaßten Teile nicht nur auf der dem Lichtstrahl zugewandten, sondern auch auf der entgegengesetzten Seite zum Glühen, wie es mit dem Bereich 23 in Fig. 4C verdeutlicht wird. Somit werden beide optischen Fasern 2₁ und 2₂ über den ganzen Bereich ihrer Stirnflächen miteinander verbunden. Ist der Durchmesser des Lichtstrahls 16 gleich 1066 μm , d. h. etwa 7mal größer als der Durchmesser der optischen Faser und sollte sogar eine leichte Verschiebung der Faserachsen zwischen den optischen Fasern 2₁ und 2₂ vorliegen, wie es Fig. 4D zeigt, so kommen die optischen Fasern 2₁ und 2₂ im Bereich der aneinanderliegenden Enden dennoch über die ganze Fläche zum Glühen, wie es mit dem Bereich 23 in Fig. 4E dargestellt ist und werden miteinander verschmolzen. In diesem Fall ist der glühende Bereich 23 in Axialrichtung der Fasern größer als in dem in Fig. 4C dargestellten Fall. Dieser Bereich 23 wird geglättet und die optischen Fasern 2₁ und 2₂ unterliegen einer korrigierenden Kraft durch die Oberflächenspannung, während der Schmelzverbindung, wodurch die oben er-

wähnte Verschiebung bzw. Versetzung der Faserachsen rückgängig gemacht bzw. ausgeglichen wird, wie es Fig. 4F zeigt. Wird der Durchmesser des Lichtstrahls 16 so gewählt, daß er 1412 μm beträgt, d. h. etwa 9mal größer ist als der äußere Durchmesser der optischen Faser, so wird der glühende Bereich 23 der aneinanderstoßenden Enden der optischen Fasern 2₁ und 2₂ in axialer Faserrichtung noch größer, wie es Fig. 4G zeigt. Wird somit der Durchmesser des Lichtstrahls zu groß gewählt, so wird der Bereich der Glättung bzw. des Achsenausgleichs so groß, daß verschmolzene optische Fasern in sich gekrümmt werden können. In Anbetracht dessen wird es vorgezogen, den Durchmesser des Lichtstrahls etwa 5- bis 10mal größer als den Durchmesser der optischen Faser zu wählen.

Im folgenden wird die in Fig. 1 enthaltene fokussierende Optik 15 beschrieben. Fig. 5 zeigt die Bündelung bzw. Fokussierung des Lichtstrahls 16 mittels einer konventionellen Konvex-Konkav-Linse, auch Meniskus-Linse genannt, mit einer Brennweite von $f = 25,1 \text{ mm}$, die sich 1 m entfernt vom Laser befindet. Eine gestrichelte Linie 26 zeigt die Stellung der Linse an. Der minimale Leuchtfleckdurchmesser des Lichtstrahls 16, d. h. der Durchmesser seines Brennpunktes ist etwa 60 μm groß und ist damit zu klein, um die optischen Fasern in diesem Punkt 18 miteinander zu verbinden. Die Entfernung zwischen den mit 27 und 28 bezeichneten Stellen beträgt 6 mm, wobei der Durchmesser des Lichtstrahls dort 800 μm beträgt, also annähernd 5mal so groß ist, wie der äußere Durchmesser (157 μm) der optischen Faser. Befindet sich die optische Faser 1₁ in der mit 27 gekennzeichneten Position zur Schmelzverbindung, dann wird eine andere optische Faser, wenn sie in der anderen Position 28 oder näher an der optischen Faser 1₁ liegt, zu stark geschmolzen und während der Schmelzverbindung der optischen Faser 1₁ zerbrochen. Dementsprechend können optische Fasern nicht einzeln in jeder Schicht verschmolzen werden, wenn nicht die Entfernung d zwischen der optischen Faser 1₁, die zu verschmelzen ist, und der anderen optischen Faser 2₁, d. h. zwischen benachbarten Schichten größer als 6 mm gewählt wird. In diesem Fall können nur zwei oder drei Schichten optischer Fasern angeordnet werden, weil die räumliche Ausdehnung des Tubus für die Optik und des Ausrichtblocks für die optischen Fasern in übereinanderliegenden Schichten berücksichtigt werden müssen. Eine so kleine Anzahl von Schichten hat jedoch geringe Bedeutung für eine räumliche bzw. Matrixanordnung optischer Fasern. Eine größere Brennweite der Fokussierungslinse vergrößert zwar die Brenntiefe, erfordert jedoch eine Vergrößerung der oben erwähnten Entfernung d , was sich noch nachteiliger auswirkt. Die Vergrößerung der Entfernung d führt ebenfalls zu einem erhöhten Raumbedarf des verbundenen Teils der miteinander verschmolzenen optischen Fasern und das ist unerwünscht. Es zeigt sich, daß die Entfernung d vorzugsweise 5 mm oder weniger betragen sollte. Im Gegensatz dazu bringt eine geringere Brennweite der Fokussierungslinse den Vorteil, daß die Brenntiefe reduziert wird, wobei jedoch die Entfernung zwischen der Linse und der Lage des Brennpunktes so klein wird, daß wiederum nicht viele Schichten optischer Fasern angeordnet werden können. Da die optischen Fasern jeweils von einem Kunststoffmantel umhüllt sind, kann die Entfernung d zwischen benachbarten Schichten der Fasern normalerweise nicht kleiner als 0,7 mm gewählt werden. Als Fokussierungsoptik 15, die eine Verkleinerung der Entfernung d erlaubt, kann eine asphärische Linse be-

nutzt werden, die eine große Aberration und eine geringe Brenntiefe besitzt. Diese Linse ist so ausgelegt, daß beispielsweise ein Laserstrahl mit dem Durchmesser von 20 mm so gebündelt wird, daß sein minimaler Leuchtfleck- bzw. Brennfleck-Durchmesser 1 mm und die Brennweite 30 mm beträgt. Fig. 6 zeigt den gemessenen Durchmesser des Strahls bei Benutzung einer solchen Optik 15 in einer Vorrichtung zur Verbindung optischer Fasern. In der Fig. 6 ist auf der Abszisse die Entfernung vom Brennpunkt bzw. der Fokalebene und auf der Ordinate die Größe des Strahldurchmessers aufgetragen und die unterbrochene Linie 29 zeigt die Mittellinie des Lichtstrahls 16. Aufgrund eines Fabrikationsfehlers betrug der Strahldurchmesser ungefähr 700 μm , das ist etwas weniger als der optimale Strahldurchmesser für eine Schmelzverbindung optischer Fasern. Dementsprechend wurden optische Fasern Schicht für Schicht in der Stellung verschmolzen, wo der Durchmesser des Strahls etwa 800 μm beträgt, d. h. räumlich etwas entfernt vom Brennpunkt 18, wie es die Fig. 7 zeigt, wo sich die optische Faser 1₁ in der Stellung der Schmelzverbindung befindet. Die Linsenoberfläche einer asphärischen Linse 31, die als Optik 15 benutzt wird, weicht von der sphärischen Oberfläche einer Linse so ab, daß ihre Aberration groß wird. Auf diese Art können optische Fasern einer Mehrschichtanordnung, in der die Entfernung d gleich 3 mm ist, Schicht für Schicht verschmolzen werden. Versuche wurden auch mit einer asphärischen Linse durchgeführt, um optische Fasern zweier Schichten gleichzeitig zu verschmelzen, wie in Zusammenhang mit Fig. 3 beschrieben wurde. Bei diesen Versuchen war die Entfernung d gleich 1 mm und die Schmelzverbindung wurde in dem Bereich ausgeführt, wo der Durchmesser des Strahls etwa 720 μm groß war.

Solch eine Optik 15 muß nicht immer speziell auf asphärische Linsen begrenzt sein. Beispielsweise kann auch eine Optik, wie sie in Fig. 8 dargestellt ist, benutzt werden. In Fig. 8 geht der Lichtstrahl 12 durch eine konische Linse 32 und wird durch eine Fokussierungslinse 33, beispielsweise eine Meniskus-Linse, zu einem fokussierten Lichtstrahl 16 gebündelt, der eine optische Faser bestrahlt. Es ist ebenfalls möglich, die Fokussierungsoptik 15 mit Spiegeln anstelle der Linsen aufzubauen. Ein Beispiel zeigt die Fig. 9. Hier wird der Lichtstrahl 12 z. B. durch einen Spiegel 34 in zwei Strahlen 12a und 12b aufgespalten, die dann in einem Punkt als zusammengesetzter Strahl gebündelt werden. Der Lichtstrahl 12a wird durch einen Konkavspiegel 35a, der Lichtstrahl 12b durch einen Konkavspiegel 35b reflektiert und die reflektierten Strahlen 36a und 36b werden in einem Bereich in einen fokussierten Lichtstrahl 16 zusammengeführt. In diesem Fall weichen die Brennebenen der Spiegel 35a und 35b voneinander ab, wodurch der Durchmesser des Strahls 16 im Bereich der Schmelzverbindung einer optischen Faser 1₁ etwa 5- bis 10mal größer wird als der Außendurchmesser der optischen Faser und der Durchmesser des Strahls im Bereich einer benachbarten optischen Faser ausreichend vergrößert wird.

Anhand der Fig. 10 und 11 wird ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Verbinden bzw. Verspleißen optischer Fasern beschrieben. Auf einer Basisplatte 41 ist ein Stützer 42 befestigt, der einen CO₂-Laser 13 trägt. Der Laser 13 emittiert einen Laserstrahl 12 in horizontaler Richtung, d. h. in Richtung der X-Achse der Fig. 10. Ein Rohr 43, das den Laserstrahl 12 umgibt, ist an der Seite des Gehäuses des Lasers 13 befestigt, an

dem der Laserstrahl aus dem freien Ende des Rohres 43 ist ein Spiegel 14 in einem Winkel von etwa 45° angebracht, bezogen auf den Laserstrahl 12. Der Spiegel 14 reflektiert den Laserstrahl 12 nach unten in Richtung auf die Basisplatte 41. Ein Objektivtubus 44 ist so an dem Rohr 43 befestigt, daß er den Laserstrahl 12 umgibt, der vom Reflektor 14 gegen die Basisplatte 41 umgelenkt wird. Am unteren Ende des Objektivtubus 44 ist die Optik 15 angebracht. Die Optik 15 ist so konzipiert, daß ihre Stellung auf der Achse des Objektivtubus justiert werden kann. An seinem freien bzw. unteren Ende ist dem Objektivtubus 44 ein beweglicher Tubus 45 eingepaßt und die Optik 15 ist in diesem beweglichen Tubus 45 befestigt. An der Außenfläche des unteren Endes des Objektivtubus 44 ist parallel zur Achse des Objektivtubus 44 ein Mikrometer 46 angebracht. Der Stütz 47 des Mikrometers 46 ist mit einem Gewinde versehen und in eine Gewindebohrung eines Vorsprungs 48 geschraubt, der außerhalb des Objektivtubus 44 seitlich von dem beweglichen Tubus 45 absteht. Dadurch wird beim Drehen des Mikrometers 46 der bewegliche Tubus längs seiner Achse nach oben oder unten, d. h. in Richtung der Z-Achse der Fig. 10 bewegt.

An dem Ort, auf den der fokussierte Laserstrahl 16 mittels des beweglichen Tubus 48 gelenkt wird, liegen die Enden von optischen Fasern einer ersten und einer zweiten Gruppe. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die erste Gruppe optischer Fasern ein Lichtleiterkabel 51, die zweite Gruppe ein Lichtleiterkabel 52. Diese Lichtleiterkabel 51 und 52 werden so gehalten, daß sie in Richtung der Y-Achse der Fig. 10 bewegbar sind, d. h. in einer Richtung, die sowohl senkrecht zu den Faserachsen ist, die bei beiden Lichtleiterkabeln parallel zur X-Achse verläuft, als auch senkrecht zum Laserstrahl 16, der in Richtung der Z-Achse verläuft. Weiterhin ist eine Schiene 53 unbeweglich auf der Basisplatte 41 angebracht. In die Schiene 53 ist eine Nut 54 eingeschnitten. Eine bewegliche Grundplatte 55 liegt auf der Schiene 53 auf. Die bewegliche Grundplatte 55 besitzt einen Führungsteil 56, der in die Nut 54 eingreift und in diese eingepaßt ist. Die bewegliche Grundplatte 55 kann damit längs der Nut 54 in Richtung der Y-Achse bewegt werden. Das Führungsteil 56 besitzt eine Gewindebohrung 57, deren Achse in der Bewegungsrichtung liegt. Ein Schraubbolzen 58 ist in die Gewindebohrung 57 eingeschraubt und an seinem einen Ende mit einem Zahnrad 59 versehen, das mit einem Zahnrad 61 in Eingriff ist, das seinerseits in ein Zahnrad 62 eingreift. Das Zahnrad 62 ist mit einer Welle eines nicht dargestellten Motors verbunden, der in einem Endteil der Schiene 53 angeordnet ist. Durch Betätigung dieses Motors wird die Grundplatte 55 längs der Nut 54 bewegt.

Ein Sockel 63 ist auf der Grundplatte 55 befestigt. Auf dem Sockel 63 sind Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 angebracht, die auf beiden Seiten der Nut 54 liegen. Die eine Kabelaufnahmehülse 65 ist so ausgebildet, daß sie in Richtung der Faserachsen, d. h. in Richtung der X-Achse bewegbar ist, auch wenn sie mit einem Lichtleiterkabel 52 bestückt ist. Hierzu ist der Sockel 63 auf der Seite der Kabelaufnahmehülse 65 dünner ausgestaltet als auf der Seite der Kabelaufnahmehülse 64, und eine Tragplatte 66 ist auf der Grundplatte 55 neben dem Sockel 63 angebracht. Zwei Führungswellen 67, die parallel zur X-Achse verlaufen, sind zwischen der Tragplatte 66 und dem Sockel 63 angeordnet. Durch einen Stützteile 68 der Kabelaufnahmehülse 65 verlaufen die Führungswellen 67. Zwischen dem Stützteile 68 und der Tragplatte 66 ist eine Spiralfeder 69 als elastischer

Kraftspeicher eingesetzt, mit der die Kabelaufnahmehülse 65 gegen die Kabelaufnahmehülse 64 vorgespannt ist. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Vorspannkraft der Spiralfeder 69 einstellbar. Die Tragplatte 66 besitzt eine Gewindebohrung, in die ein mit einem Gewinde versehenes Rohr 71 eingeschraubt ist. Die Endfläche des mit einem Gewinde versehenen Rohres 71 ist auf der von der Kabelaufnahmehülse 64 abgewandten Seite verschlossen und ein Teil der Spiralfeder 69 befindet sich in der mit einem Gewinde versehenen Hülse 71 und liegt an deren Endabschluß an. Durch Drehung der mit einem Gewinde versehenen Hülse 71 wird die Vorspannung verändert, die mittels der Spiralfeder 69 auf dem Stützteile 68 ausgeübt wird.

Von dem Stützteile 68 steht senkrecht zu den Führungswellen 67 ein Vorsprung 72 ab. Ein Hebel 74 ist drehbar auf einer Welle 73 (siehe Fig. 11) befestigt, die mit der Grundplatte 55 verbunden ist. Ein Arm des Hebels 74 liegt am Vorsprung bzw. Anschlag 72 auf der der Kabelaufnahmehülse 64 zugewandten Seite an und begrenzt die Bewegung des Stützteiles 68. Ein L-förmiges Metallteil 75 ist auf der Grundplatte 55 gegenüber dem Arm des Hebels 74 befestigt, der nicht am Anschlag 72 anliegt. Zwischen dem L-förmigen Metallteil 75 und dem Arm des Hebels 74 ist eine Spiralfeder 77 angeordnet, durch die dieser Arm des Hebels 74 in Berührung mit der Stirnfläche der Welle eines Mikrometers 76 gehalten wird. Durch Einstellung des Mikrometers 76 wird die Stellung des Hebels 74 justiert und der Stützteile 68 in seine Stellung gebracht.

Die optischen Fasern der Lichtleiterkabel 51 und 52, die jeweils von den Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 gehalten werden, sind so angeordnet, wie es in Fig. 1 gezeigt ist, und sind so ausgerichtet, daß die Achsen der paarweise miteinander zu verschmelzenden optischen Fasern miteinander fluchten bzw. sich decken. Die Beschichtungen des Endes jedes Lichtleiterkabels 51 und 52 sind entfernt und deren optische Fasern werden mittels Ausrichtblöcken 91 und 92 so gehalten, daß sie in einer vorgegebenen räumlichen Konfiguration angeordnet sind und daß ihre Achsen parallel zueinander verlaufen. Die Ausrichtblöcke 91 und 92 sind in einer Einspannvorrichtung bzw. Schablone 93 angeordnet und die entsprechenden, miteinander zu verschmelzenden optischen Fasern sind ausgefluchtet. Da die Ausrichtblöcke 91 und 92 identisch aufgebaut sind, ist nur der Ausrichtblock 92 in Fig. 12 näher dargestellt. Der Ausrichtblock 92 ist aus Ausrichtplatten 94, 95 und 96 aufgebaut. Jede Ausrichtplatte 95 besitzt auf beiden Seiten V-förmige Nuten und ist zwischen benachbarte Schichten optischer Fasern eingefügt. Dabei ist jeweils eine optische Faser in eine der Nuten eingelegt. Der Abstand der Schichten ist damit durch die Dicke der jeweiligen Ausrichtplatte 94 festgelegt. Die optischen Fasern der oberen und unteren Schichten werden in der jeweiligen Ausrichtplatte 94 durch Ausrichtplatten 95 und 96 von oben und unten gehalten. Die Ausrichtplatten 95 und 96 haben lediglich V-förmige Nuten an ihren Innenflächen. Die Ausrichtplatten 94, 95 und 96 werden mittels Schrauben 111 zusammengehalten.

Die Einspannvorrichtung bzw. Schablone 93 ist zwischen den Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 angeordnet. Sie besteht aus einem Paar sich gegenüberliegender Führungsplatten 97 und 98, die auf dem Sockel 63 parallel zur X-Achse befestigt sind. Die Sohlen der Führungsplatten 97 und 98 sind bündig. Der Abstand zwischen den Führungsplatten 97 und 98 ist im wesentlichen gleich dem Abstand zwischen den beiden Seitenflächen

der Ausrichtplatten 94. Die Gruppen optischer Fasern, die von den Ausrichtblöcken 91 und 92 gehalten werden, sind jeweils zwischen den Führungsplatten 97 und 98 angeordnet und jedes Paar von miteinander zu verbindenden optischen Fasern ist damit fluchtend ausgerichtet. Die Ausrichtblöcke 91 und 92 sind mittels Klemmplatten 112 und 113 befestigt, die auf den oberen Ausrichtplatten 95 aufliegen und an den Stirnflächen der Führungsplatten 97 und 98 mit Schrauben 101 und 102 verschraubt sind.

Jede der Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 ist beispielsweise rahmenartig und hat einen U-förmigen Querschnitt. Die mit einer Umhüllung versehenen Kabel 51 und 52 sind jeweils in einer der Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 angeordnet und mit einer Halteplatte 103 und 104 abgedeckt. In den Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 werden die Kabel dadurch gehalten, daß die Halteplatten 103 und 104 beispielsweise mit Schrauben 105 und 106 mit den Kabelaufnahmehülsen 64 und 65 verschraubt sind. Falls notwendig können senkrecht, d. h. parallel zur Z-Achse verlaufende Schlitze 107 und 108 in die Mitte jeder der Führungsplatten 97 und 98 eingeschnitten sein. Eine Teilungsplatte 109 ist in die senkrechten Nuten 107 und 108 quer zu den Führungsplatten 97 und 98 eingepaßt und die Stirnflächen der optischen Fasern des Kabels 51 liegen an der Teilungsplatte 109 an. Die Teilungsplatte 109 wird dann entfernt und die Stirnflächen der optischen Fasern des Kabels 52 werden zum Anschlag an die Stirnflächen der optischen Fasern des Kabels 51 gebracht. Dabei wird das Kabel 52 durch die Halteplatte 104 der Aufnahmehülse 65 fixiert und gehalten. Die Schrauben 102 für die Klemmplatte 113 werden im voraus gelöst und der Hebel 74 wird entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn durch Einstellung des Mikrometers 76 gedreht, wodurch das Lichtleiterkabel 52 mittels der Spiralfeder 69 etwa 5 bis 10 µm gegen das Lichtleiterkabel 51 bewegt wird. Damit wird ein Anschlag- bzw. Anpreßdruck zwischen den aneinanderliegenden Paaren optischer Fasern erzeugt. Anschließend werden die Schrauben 102 wieder angezogen. Der Sockel 63 und der Objektiventubus 44 werden vorher in ihre Stellung gebracht, so daß der fokussierte Laserstrahl 16 auf die Verbindungsstelle der aneinanderliegenden optischen Fasern senkrecht zu deren Achse einfallen kann.

Nachdem die Lichtleiterkabel 51 und 52 in den Kabelaufnahmehülsen befestigt und die entsprechenden optischen Fasern zum Aneinanderliegen gebracht und, wie oben beschrieben, mit dem Anpreßdruck versehen sind, wird der Brennfleck des Laserstrahls 16 durch Justieren des Mikrometers 46 beispielsweise in die Lage der ersten Schicht optischer Fasern gebracht und die Grundplatte 55 wird in Richtung der Y-Achse bewegt. Dabei werden die optischen Fasern der ersten Schicht durch Verschmelzen miteinander verbunden. In diesem Zeitpunkt werden die optischen Fasern der anderen Schichten vom Laserstrahl nicht beeinflusst, da der Laserstrahl so fokussiert ist, wie es in Verbindung mit Fig. 1 beschrieben wurde. Nachdem die optischen Fasern der ersten Schicht miteinander verschmolzen sind, wird das Mikrometer 46 so nachgestellt, daß der Fokus des Laserstrahls nach unten in die Lage der zweiten optischen Faserschicht gebracht wird und die Grundplatte 55 wird erneut verschoben und damit die optischen Fasern der zweiten Schicht verschmolzen. Anschließend wird die Schmelzverbindung der optischen Fasern weiterer Schichten in gleicher Weise durchgeführt.

Für das allmähliche bzw. gleichmäßige Erhitzen und

Abkühlen der optischen Fasern bei der Schmelzverbindung wird wenigstens der fokussierte Laserstrahl 16 kontinuierlich relativ zu den optischen Fasern bewegt. Bei einem Verfahren, das bisher angewendet wurde, wurden die aneinanderstoßenden Enden optischer Fasern ins Zentrum eines Laserstrahls gebracht und es wurde durch Öffnen und Schließen eines Verschlusses der Laserstrahl kurzzeitig auf die miteinander zu verschmelzenden optischen Fasern gelenkt. Da bei diesem Verfahren die optischen Fasern schnell erhitzt und abgekühlt werden, können die Fasern aufquellen und die Streuung und Dämpfung im Verbindungsbereich sind groß. Da beim erfindungsgemäßen Verfahren der fokussierte Laserstrahl 16 relativ zu den optischen Fasern bewegt wird und da die Energieverteilung eines Laserstrahls einer Gauß-Verteilung entspricht, werden die miteinander zu verschmelzenden Fasern allmählich und kontinuierlich erhitzt und abgekühlt. Damit wird das Aufquellen bzw. die Blasenbildung vermieden und man erhält eine Verbindungs- bzw. Spießstelle guter Reproduzierbarkeit. Als geeignete Bewegungsgeschwindigkeit der optischen Fasern während des Verbindens bzw. Verspießens haben sich 10 bis 20 µm/s erwiesen. Mit Bewegungsgeschwindigkeiten, die kleiner als 10 µm/s sind, werden die Eigenschaften der miteinander verbundenen optischen Fasern nicht beeinflusst, aber die für das Verbinden benötigte Zeit wird verlängert.

Der Außendurchmesser einer optischen Faser einschließlich ihrer Kunststoffumhüllung beträgt ungefähr 1 mm, die Breite von acht, in einer Schicht nebeneinander gereihten Fasern beträgt damit ungefähr 8 mm. Bei einer Geschwindigkeit von 10 µm/s benötigt man 13 Minuten, um die Grundplatte 55 über diese Strecke zu bewegen. Diese Zeitspanne ist für einen leistungsfähigen Betrieb zu groß. In der Praxis wird die für das Verbinden benötigte Zeit dadurch verkürzt, daß während der Zeitspanne, in der der Laserstrahl sich zwischen zwei optischen Fasern befindet, eine größere Geschwindigkeit für die Grundplatte 55 gewählt wird, als in dem Zeitraum, in dem der Laserstrahl auf ein Paar zu verbindender optischer Fasern gerichtet ist. So wird beispielsweise die Grundplatte 55 mit einer Geschwindigkeit von 15 µm/s über eine Strecke bewegt, die das Zweifache des Außendurchmessers einer optischen Faser beträgt, wenn der Laserstrahl auf ein Paar aneinanderstoßender, miteinander zu verbindender optischer Fasern gerichtet ist. Befindet sich hingegen der Laserstrahl zwischen optischen Fasern, so wird die Grundplatte mit einer höheren Geschwindigkeit von ungefähr 2 mm/s angetrieben. Damit wird die Zeit, die man für die Schmelzverbindung einer Schicht von aneinander gereihten optischen Fasern benötigt, auf weniger als drei Minuten reduziert.

Zur Geschwindigkeitssteuerung kann eine Steuervorrichtung benutzt werden, wie sie beispielsweise in Fig. 21 gezeigt ist. Fig. 21 zeigt einen Impulsgenerator 141. Dieser Impulsgenerator 141 erzeugt Impulse, deren Frequenz von einer angelegten Spannung abhängig ist. Die Ausgangsimpulse des Impulsgenerators 141 speisen einen Stellmotor 142. Der Stellmotor 142 treibt die Welle des Zahnrads 62 an, das in Fig. 10 gezeigt ist und mit dem die Grundplatte 55 in Richtung der Y-Achse bewegt wird. Die Ausgangsimpulse des Impulsgenerators 141 werden von einem Zähler 143 gezählt, dessen Zählinhalt von einem Dekoder 144 dekodiert wird. Im oben geschilderten Betriebsverfahren treten zwei Betriebszustände auf. In einem Betriebszustand wird die Grundplatte 55 über eine Strecke bewegt, die das Doppelte

des Durchmessers jeder optischen Faser ist. Im zweiten Betriebszustand wird die Grundplatte 55 über eine Strecke bewegt, die dem Mittelpunktabstand zweier Fasern vermindert um das Doppelte des Faserdurchmessers entspricht. Die Zählhalte des Zählers 143 werden für diese Betriebszustände von dem Dekoder 144 erfaßt und die dekodierten Ausgangssignale sind jeweils einem UND-Gatter 145 und 146 zugeführt. Die Ausgänge der Gatter 145 und 146 sind über ein ODER-Gatter 147 einem Flipflop 148 zugeführt, der die Signalumkehr bzw. -Inversion überwacht. Gleichzeitig ist der Ausgang des ODER-Gatters 147 mit dem Rückstelleingang des Zählers 143 verbunden. Die Ausgangssignale Q und \bar{Q} des Flipflops, bzw. der bistabilen Kippstufe 148 sind jeweils als Steuersignale den UND-Gattern 145 und 146 zugeführt. Außerdem wird vom Ausgangssignal Q des Flipflops 148 ein Schalter 149 betätigt, der zwischen den Widerständen 151 und 152 umschaltet, über die die Impulsfrequenz des Impulsgenerators 141 bestimmt wird.

Bei Betriebsbeginn besitzt das Ausgangssignal Q des Flipflop 148 den logischen Zustand H, womit das Gatter 145 geöffnet wird und der Schalter 149 den Widerstand 151 an den Impulsgenerator 141 anschließt. Der Impuls-generator 141 erzeugt Impulse einer Frequenz, mit der die Grundplatte 55 beispielsweise mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/s angetrieben wird. Wird nun die Grundplatte 55 mit dieser Geschwindigkeit in Richtung der Y-Achse der Fig. 10 bewegt und erhält das Gatter 146 ein Ausgangssignal, das auf dem Zählhalt des Zählers 143 basiert, so sind die als erste zu verschmelzenden optischen Fasern in eine Stellung gebracht, die vom Mittelpunkt des Laserstrahls um eine Strecke entfernt ist, die dem Durchmesser der Faser entspricht. In diesem Zustand wird der Flipflop 148 vom Ausgangssignal des Gatters 146 in seine zweite stabile Lage umschaltet, d. h. das Ausgangssignal \bar{Q} ist ein logisches L und das Ausgangssignal Q ein logisches H. Dadurch wird das Gatter 145 geöffnet und der Zähler 143 zurückgesetzt. Außerdem wird der Schalter 149 umgeschaltet und verbindet nun den Widerstand 152 mit dem Impulsgenerator 141. Damit wird die Frequenz der Ausgangsimpulse des Impulsgenerators 141 verkleinert und die Grundplatte 55 wird mit einer Geschwindigkeit von beispielsweise 15 μ m/s bewegt. In diesem Betriebszustand, in dem die zu verschmelzenden optischen Fasern zusammen über eine Strecke bewegt werden, die dem doppelten Faserdurchmesser entspricht, wird vom Dekoder 144 der Zählhalt des Zählers 143 dekodiert und als Ausgangssignal dem Gatter 145 zugeführt, womit der Flipflop 148 wieder in seinen anderen stabilen Zustand umgeschaltet wird. Daraus resultiert, daß das Ausgangssignal \bar{Q} des Flipflops 148 wiederum den Zustand »H« annimmt, womit das Gatter 146 geöffnet und der Zähler 143 abermals zurückgestellt wird. Außerdem wird der Schalter 149 umgeschaltet und damit wiederum der Widerstand 151 mit dem Impulsgenerator 141 verbunden, womit die Frequenz der Ausgangsimpulse erhöht wird. Damit beginnt der beschriebene Betriebsablauf erneut und wiederholt sich periodisch.

In Zusammenhang mit Fig. 10 und 11 wurden die mit V-förmigen Nuten versehenen Ausrichtplatten 94, 95 und 96 erwähnt, die als Ausricht- und Halteelemente für die Fasern benutzt werden. Solche mit V-förmigen Nuten versehene Ausrichtelemente sind bekannt. Als einer der Vorteile des Verbindens durch Verschmelzen mit allmählicher Erhitzung bzw. Abkühlung der optischen Fasern mittels eines Laserstrahls ist jedoch hervorzuheben, daß die Genauigkeit und Präzision der V-förmigen

Nuten nicht besonders bedeutungsvoll ist. Dies liegt daran, daß die Oberflächenspannung miteinander verschmolzener optischer Glasfasern fähig ist, einen Fluchtungsfehler der Faserachsen zu korrigieren. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird durch das allmähliche Aufheizen sichergestellt, daß dieser Vorteil gänzlich ausgenutzt wird. Fig. 13 zeigt, wie weit der Fluchtungsfehler zwischen Faserachsen von zwei miteinander verschmolzenen Fasern ausgeglichen wird. Der Fig. 13 entnimmt man, daß man im Fall einer Verbindung mittels Verschmelzen eine Verbindung mit geringer Dämpfung sogar dann noch erhält, wenn die Achsen der aneinanderstoßenden optischen Fasern eine seitliche Versetzung von 5 bis 10 μ m und einen Winkelfehler von 2 bis 5° vor der Schmelzverbindung besitzen. Im Diagramm der Fig. 13 ist auf der Abszisse die Zeit aufgetragen, die zur Verschmelzung zur Verfügung steht, auf der Ordinate sind die auftretenden Dämpfungsverluste aufgetragen. Die Fig. 13 zeigt, daß vor der Schmelzverbindung eine Dämpfung von ungefähr 1,2 dB infolge der Fluchtungsfehler auftritt, die von der seitlichen Verschiebung und von der Winkelabweichung herrühren. Das ist ein großer Dämpfungsverlust verglichen mit einer Fresnel-Dämpfung von 0,3 dB, die auftritt, wenn die Stirnflächen von zwei optischen Fasern ohne Fluchtungsfehler der Achsen aneinanderliegen. Dieser hohe Dämpfungsverlust wird merkbar durch die Schmelzverbindung verkleinert und beträgt infolge der Korrektur des Fluchtungsfehlers der Faserachsen nach der Verschmelzung nur noch etwa 0,02 dB.

Da das erfindungsgemäße Verfahren Fluchtungsfehler so vorteilhaft ausgleicht, ist es nicht erforderlich, daß die Genauigkeit bzw. Präzision der V-förmigen Nuten der Ausrichtplatten besonders groß ist und man kann Ausrichtplatten benutzen, die aus einem billigen Material gefertigt sind, beispielsweise aus glasfaserverstärktem Kunststoff, der üblicherweise als GFK bezeichnet wird. Aus diesem Grund ist auch eine mehrmalige Verwendung der beschriebenen Ausrichtplatten nicht erforderlich. Die Verbindungsbereiche von Lichtleiterkabeln können daher so, wie man sie erhält, als Ganzes in Form einer herkömmlichen Kabelmuffe verstärkt bzw. versteift werden. Fig. 14 zeigt beispielsweise, daß die miteinander verbundenen Lichtleiterkabel 51 und 52 zusammen mit den an den Kabeln befestigten Ausrichtblöcken 91 und 92 in eine Kabelmuffe 114 eingelegt werden, die einen U-förmigen Querschnitt besitzt. Beispielsweise mit einem Epoxidharz wird die Kabel- bzw. Verstärkungsmuffe 114 vergossen, wodurch die Ausrichtblöcke 91 und 92 mit der Verstärkungsmuffe 114 verbunden werden. Gleichzeitig wird der Raum, der zwischen den Ausrichtblöcken 91 und 92 liegt, und damit der Bereich der Verbindungspunkte der optischen Fasern mit dem Epoxidharz ausgefüllt. Auf diese Weise können die Ausrichtblöcke 91 und 92 zusätzlich zur Verstärkung der Verbindungspunkte der optischen Fasern benutzt werden.

Es ist nicht erforderlich, als Ausrichtblöcke 91 und 92 lediglich den bisher beschriebenen Typ zu benutzen. Fig. 15 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel eines Ausrichtblocks 92. Dieser Ausrichtblock besitzt eine Ausrichtplatte 117 und eine Halteplatte 118 für jede Reihe optischer Fasern. Die Ausrichtplatte 117 ist mit V-förmigen Nuten in ihrer Deckfläche versehen und besitzt längliche Vorsprünge 115 und 116 an beiden Enden, die parallel zu den V-förmigen Nuten verlaufen. Optische Fasern, die nicht dargestellt sind, werden jeweils in eine der V-förmigen Nuten eingelegt. Anschlie-

End wird die Halteplatte 118 zwischen die Vorsprünge 115 und 116 der Ausrichtplatte 117 eingefügt und mit Schrauben 119 an der Ausrichtplatte 117 befestigt. Damit wird eine einzige Reihe optischer Fasern fixiert. Daraufhin wird eine zweite Ausrichtplatte 117 auf diese fixierte Schicht von Fasern gelegt und wiederum wird jeweils eine optische Faser in jede V-förmige Nut dieser Ausrichtplatte 117 eingelegt und eine weitere Halteplatte 118 an dieser Ausrichtplatte 117 befestigt, womit man eine weitere Reihe bzw. Schicht fixierter optischer Fasern erhält. Auf diese Weise werden Reihen bzw. Schichten fixierter und ausgerichteter optischer Fasern nacheinander erzeugt. Die Faserschichten werden nacheinander in den Montageblock bzw. die Schablone 93 eingelegt, wobei ihre Stellung in bezug auf die Y-Achsenrichtung durch die Führungsplatten 97 und 98 festgelegt ist. Anschließend wird die Halteplatte 118 der oberen Faserschicht gegen die Sohle der Schablone 93 gepreßt. Hierzu sind in der Seitenwandung 97 Lochreihen mit Löchern 121 kleinen Durchmessers vorgesehen, die in Richtung der Z-Achse verlaufen. Ein Bolzen bzw. eine Schraube 122 wird in das entsprechende Loch 121 dieser Lochreihe eingeführt und mit dem herausragenden Ende des Bolzens 122 wird die Halteplatte 118 der oberen Faserschicht nach unten gedrückt. Dadurch werden die optischen Fasern auch in der Richtung der Z-Achse fixiert. Der zweite Ausrichtblock 91 ist bei diesem Ausführungsbeispiel identisch ausgeführt.

Die Ausrichtplatten der Ausrichtblöcke 91 und 92 können auch einstückig ausgeführt sein. Ein Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 16, wo gemeinsame Ausrichtplatten 117a und 117b der Ausrichtblöcke 91 und 92 dargestellt sind, die den Ausrichtplatten 117 entsprechen, die in Fig. 15 gezeigt sind. Die Ausrichtplatten 117a und 117b sind an ihrem einen Ende miteinander über ein Verbindungsstück 123 verbunden. Die einander entsprechenden V-förmigen Nuten der Ausrichtplatten 117a und 117b sind miteinander fluchtend angeordnet. Optische Fasern werden in die V-förmigen Nuten der Ausrichtplatten 117a und 117b eingebracht und mittels nicht dargestellter Halteplatten 118a und 118b fixiert, womit wiederum eine Reihe bzw. Schicht optischer Fasern erhalten wird. Mehrere solcher Ausrichtplatten, von denen je eine Reihe bzw. Schicht optischer Fasern von zwei Lichtleiterkabeln enthält, werden nacheinander in die Schablone bzw. die Montagevorrichtung 93 eingelegt. Da in diesem Ausführungsbeispiel die Ausrichtplatten 117a und 117b in ihrer gegenseitigen Lage fixiert sind, fluchten die Faserachsen mit hoher Genauigkeit. Die so erhaltenen Faserschichten werden relativ zueinander bezüglich der Y-Achsenrichtung in der Schablone 93 fixiert.

Da Quarzglas einen kleinen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von ungefähr $5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ besitzt, wurde bisher ein Verfahren beschrieben, bei dem die aneinanderliegenden Stirnflächen der Fasern während des Verschmelzungsprozesses gegeneinander gepreßt werden. Bei der beschriebenen Vorrichtung werden die in Schichten angeordneten optischen Fasern nicht einzeln während des Verschmelzungsprozesses gegeneinander gedrückt, sondern vor dem Verschmelzen wird die Kabelaufnahmhülse 65 gegen die andere Kabelaufnahmhülse 64 bewegt, womit die aneinanderliegenden Stirnflächen aller optischen Fasern der beiden Lichtleiterkabel 51 und 52 gemeinsam gegeneinander gedrückt werden. Es hat sich gezeigt, daß man damit das gleiche Resultat erhält, wie wenn man die optischen Fasern während des Verschmelzungsprozesses eine nach der

anderen gegeneinander drückt. Vorteilhaft ist jedoch dabei, daß die Verbindung optischer Fasern, die in vielen Schichten angeordnet sind, in einfacher Weise durchgeführt werden kann.

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der durchschnittlichen Dämpfungswerte von Verbindungsstellen von 24 Paaren optischer Fasern. Dabei lagen beim ersten Vergleichsversuch die optischen Fasern während des Verschmelzungsprozesses nur in Berührungskontakt aneinander. Beim zweiten Vergleichsversuch wurden die optischen Fasern zuerst gegeneinander gestoßen und dann um eine Strecke von $10 \mu\text{m}$ gegeneinander bewegt. Beim dritten Vergleichsversuch wurden die optischen Fasern ebenfalls aneinandergestoßen und anschließend um $50 \mu\text{m}$ gegeneinander verschoben.

Tabelle 1

Abhängigkeit der Dämpfung der Verbindungsstellen von der Strecke, um die die Faserenden gegeneinander in Längsrichtung verschoben wurden

Faserverschiebung in Längsrichtung	Durchschnittliche Dämpfung an der Verbindungsstelle (db)
0 (Berührungskontakt zwischen den Fasern)	0,19
$10 \mu\text{m}$	0,16
$50 \mu\text{m}$	0,24

Beim zweiten Versuch, bei dem die optischen Fasern nach dem Aneinanderstoßen der Endflächen um $10 \mu\text{m}$ in Längsrichtung gegeneinander verschoben wurden, besitzt die Dämpfung der Verbindungsstelle ein Minimum. Dies zeigt eindeutig die Wirkung des Anpreßdrucks auf die Kontaktflächen durch das Verschieben der optischen Fasern gegeneinander. Beim Versuch 3, bei dem die Fasern um $50 \mu\text{m}$ gegeneinander verschoben wurden, wird ein Anpreßdruck erzeugt, der etwas zu groß ist. Dies bewirkt einen Fluchtungsfehler der Faserachsen zwischen aneinandergedrückten Fasern, aus dem das Anwachsen der Dämpfungsverluste in der Verbindungsstelle resultiert. Tabelle 2 zeigt die Abhängigkeit der Biegezugfestigkeit bzw. der Zugfestigkeit einer verschmolzenen optischen Faser im Bereich des Verbindungspunktes von der Faserverschiebung in Längsrichtung.

Tabelle 2

Abhängigkeit der Biegezugfestigkeit einer optischen Faser im Bereich des Verbindungspunktes von der Faserverschiebung in Längsrichtung

Faserverschiebung in Längsrichtung	Durchschnittliche Biegezugfestigkeit (g)
0	420
$10 \mu\text{m}$	520
$50 \mu\text{m}$	530

In dem Fall, in dem die optischen Fasern lediglich in geringem Berührungskontakt miteinander gehalten werden, beträgt die durchschnittliche Biegezugfestigkeit 420 g . Werden die optischen Fasern um $10 \mu\text{m}$ ge-

geineinander verschoben und damit zusammengepreßt, so wird die Biegeungssteifigkeit merklich auf 520 g erhöht.

Diese Versuchsergebnisse zeigen augenscheinlich, daß für eine optimale Verbindung von optischen Fasern, die in einer räumlichen Konfiguration bzw. einer Matrix angeordnet sind, die Fasern während des Verschmelzungsprozesses mit einem Druck zusammenzupressen sind, der mit einer Verschiebung von 10 µm vor dem Verschmelzungsprozeß erzeugt wird.

Als Lichtquelle für die Verschleißung mittels Verschmelzung hat sich der CO₂-Laser bewährt, da seine Leistungsabgabe sehr stabil ist und sich in einem weiten Bereich verändern läßt. Die Leistung des bei den Versuchen benutzten CO₂-Lasers konnte kontinuierlich von 3 bis 5 Watt verändert werden und seine Langzeistabilität betrug $\pm 5\%$. Damit konnten bei einem optimalen Energieverbrauch Verbindungsstellen guter Reproduzierbarkeit erhalten werden.

In den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen wurde die Grundplatte 55 in Richtung der Y-Achse für das aufeinanderfolgende Verschmelzen optischer Fasern einer bestimmten Schicht der Lichtleiterkabel 51 und 52 verschoben. Anstelle der Grundplatte 55 kann auch die Optik verschoben werden. Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel ist in Fig. 17 gezeigt, wo Bauteile, die mit Bauteilen der Fig. 10 identisch sind, mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind. Der Laserstrahl 12 des Lasers 13 wird in Richtung der Y-Achse emittiert, die senkrecht zur Achse der Lichtleiterkabel 51 und 52 liegt. Eine Führungsschiene 124 steht vom Gehäuse des Lasers 13 in Emissionsrichtung des Laserstrahls 12 ab. Von der Führungsschiene 124 wird ein Träger 125 bewegbar geführt, der oben am Objektivtubus 44 befestigt ist. Am Gehäuse des Lasers 13 ist ein Motor 126 befestigt, von dem eine Gewindestange angetrieben wird, die parallel und benachbart zur Führungsschiene 124 verläuft. Die Gewindestange 127 ist in Eingriff mit einer Gewindebohrung des Trägers 125 des Objektivtubus 44. Der Spiegel, mit dem der Laserstrahl 12 in Richtung auf das Lichtleiterkabel abgelenkt wird, ist am Objektivtubus 44 befestigt. Durch Drehung der Gewindestange 127 wird der Objektivtubus 44 in Richtung der Y-Achse bewegt. Damit wird der Laserstrahl 16, der auf eine bestimmte Schicht der optischen Fasern fokussiert ist, nacheinander auf die optischen Fasern dieser Schicht gelenkt, um diese nacheinander zu verschmelzen. Zusammenfassend ausgedrückt wird also bei diesem Ausführungsbeispiel das optische System und zwei Gruppen miteinander fluchtender optischer Fasern, die von Ausrichtblöcken gehalten werden, relativ zueinander bewegt. Damit kann der Bereich größter Strahlungsdichte des fokussierten Strahles, d. h. sein Fokus oder Brennpunkt, zweidimensional, d. h. in einer Ebene bewegt werden, in der die aneinanderliegenden Stirnflächen der optischen Fasern liegen, die miteinander verschmolzen werden sollen.

Als Lichtleiterkabel kann beispielsweise eine Anordnung optischer Fasern benutzt werden, wie sie in Fig. 18 gezeigt ist. Dieses Lichtleiterkabel besitzt 6 optische Fasern 21, von denen jede mit einer Kunststoffumhüllung 128 umgeben ist. Die optischen Fasern bzw. Lichtleiter 21 sind symmetrisch um eine Faser 129 angeordnet, die zur Zugentlastung dient, und sie sind insgesamt von einer Schutzhülle 130 umgeben. Um die optischen Fasern eines solchen Kabels mittels Verschmelzung zu verbinden, wird ein Ausrichtblock benutzt, mit dem die optischen Fasern 21 in ihrer relativen Stellung

zueinander gehalten werden. Als Ausführungsbeispiel eines solchen Ausrichtblocks ist Fig. 19 gezeigt. Der Ausrichtblock ist aus Ausrichtplatten 131 bis 134 aufgebaut. Die Ausrichtplatten 131 bis 133 besitzen jeweils zwei V-förmige Nuten. Dabei sind die V-förmigen Nuten der Ausrichtplatten 131 und 133 gleich weit voneinander entfernt, während der Abstand der V-förmigen Nuten der Ausrichtplatte 132 größer ist als bei den anderen beiden Ausrichtplatten. Die Ausrichtplatte 131, 132 und 133 werden in dieser Reihenfolge nacheinander aufeinandergeschichtet, so daß V-förmige Nuten jeweils der Lage der optischen Fasern entsprechen, wie sie in Fig. 18 gezeigt ist. In diesem Fall kann der Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls im Bereich der Schichten der optischen Fasern, die über oder unter der Schicht liegen, deren Fasern verschmolzen werden sollen, kleiner sein als beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Dies folgt daraus, daß die Leistungsverteilung des Lichtstrahls eine Gauß-Verteilung ist und daß die optischen Fasern benachbarter Schichten seitwärts gegeneinander bezüglich der Richtung des fokussierten Lichtstrahls versetzt sind. Auch wenn man mehrere Lichtleiterkabel, wie sie in Fig. 18 gezeigt sind, in einem einzigen Lichtleiterkabel vereint miteinander verbinden will, kann man die optischen Fasern nach dem erfindungsgemäßen Verfahren und mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung verbinden. Hierzu muß ein Ausrichtblock benutzt werden, der für eine solche besondere Leitervorrichtung ausgelegt ist. Das beschriebene Verbindungsverfahren und die beschriebene Vorrichtung läßt sich damit auch zur Verbindung von Gruppen optischer Fasern benutzen, die nicht nur in einem einzigen Lichtleiterkabel zusammengefaßt sind.

Vorzugsweise werden die miteinander zu verschmelzenden optischen Fasern allmählich erhitzt und abgekühlt, wie es oben beschrieben wurde. In den bisherigen Ausführungsbeispielen wurden für dieses allmähliche Erhitzen und Abkühlen die optischen Fasern und die Lichtquelle relativ zueinander bewegt, so daß der fokussierte Strahl wenigstens über die optischen Fasern mit einer konstanten Geschwindigkeit geführt wurde, die innerhalb des oben angegebenen Bereichs liegt. Für das allmähliche Erhitzen und Abkühlen ist es auch möglich die Energie des fokussierten Strahls dadurch zu steuern, daß ein Teil des Lichtstrahls mittels eines Verschlusses oder einer veränderlichen Blende abgeblendet wird. Dabei wird die Fläche des abgedeckten Teils des Lichtstrahls allmählich verkleinert und anschließend allmählich wieder vergrößert. Die gleiche Wirkung erzielt man wenn man die Leistung des emittierten Lichtstrahls steuert. Diese Abwandlungen treten anstelle der Relativbewegung des fokussierten Laserstrahls und der optischen Fasern. Weiterhin wurde bisher vorausgesetzt, daß die Schicht optischer Fasern, die dem Fokus bzw. Brennfleck des Lichtstrahls ausgesetzt ist, dadurch ausgewählt wird, daß das optische System 15 und der Sockel 63 relativ zueinander in Richtung der Z-Achse bewegt werden. Anschließend wurden dann die optischen Fasern der ausgewählten Schicht nacheinander dem Verschmelzungsprozeß dadurch ausgesetzt, daß das optische System 15 und der Sockel 63 relativ zueinander in Richtung der Y-Achse gleichmäßig bewegt wurden. In Abwandlung hierzu ist es auch möglich, zur Auswahl der Schicht optischer Fasern, die dem Brennfleck ausgesetzt werden sollen, das optische System 15 und den Sockel 63 relativ zueinander in Richtung der Y-Achse zu bewegen und die sequentielle Verschmelzung der optischen Fasern der ausgewählten Schicht durch ein

all.
quar
zu
Lichtleiter
die
LWL

gleichmäßige Relativbewegung der Optik und des Sokkels 63 in Richtung der Z-Achse zu bewirken.

Im folgenden werden experimentelle Daten angegeben, die mit erfindungsgemäß verbundenen optischen Fasern erhalten wurden.

Zunächst seien Resultate der Verbindung optischer Fasern angegeben, die sich in einer einzigen Schicht befanden. Das im Zusammenhang mit Fig. 10 und 11 beschriebene Gerät wurde so verwendet, wie es prinzipiell im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben wurde. Als Lichtquelle 13 wurde ein CP₂-Laser benutzt, dessen Ausgangsleistung im Bereich der optischen Fasern 2,7 W betrug. Als fokussierendes optisches System 15 wurde eine asphärische Linse verwendet, die bereits im Zusammenhang mit Fig. 6 beschrieben wurde und der kleinste Durchmesser des fokussierten Lichtstrahls 16 betrug etwa 700 µm. Die Schmelzverbindung optischer Fasern wurde ausgeführt, nachdem diese in einer Lage justiert wurden, in der der Durchmesser des Lichtstrahls etwa 800 µm betrug. Das bedeutet, daß die optischen Fasern etwas außerhalb des Brennflecks angeordnet waren, wie es in Fig. 7 gezeigt ist. War der Lichtstrahl auf eine optische Faser gerichtet, so betrug die Fasergereschwindigkeit 15 µm/s über eine Strecke von 300 µm. Die Geschwindigkeit der Fasern betrug 2 mm/s, wenn der Brennfleck des Lichtstrahls zwischen optischen Fasern lag. Die optischen Fasern waren in drei Schichten mit jeweils acht Faserreihen angeordnet, wobei der Ausrichtblock benutzt wurde, der im Zusammenhang mit Fig. 15 beschrieben wurde. Der Abstand zwischen den Schichten betrug 3 mm. Die Schmelzverbindung dieser 24 Paare optischer Fasern wurde 5mal wiederholt, d. h. es wurden 120 Faserpaare miteinander verbunden und die Dämpfungen der Verbindungsstellen wurden gemessen. Ein Säulendiagramm der gemessenen Dämpfung der Verbindungsstellen ist in Fig. 20 gezeigt. In Fig. 20 ist auf der Abszisse die Dämpfung der Verbindungsstellen und auf der Ordinate die Anzahl der Verbindungsstellen aufgetragen. Die durchschnittliche Dämpfung betrug 0,18 dB mit einer Standardabweichung, d. h. mit einer mittleren quadratischen Abweichung von 0,16 dB. Bezüglich der einzelnen Schichten betrugen die durchschnittlichen Dämpfungen von Verbindungsstellen der unteren Schicht 0,17 dB, von Verbindungsstellen der mittleren Schicht 0,21 dB und von Verbindungsstellen der Deckschicht 0,15 dB. Diese Werte sind etwas größer als die Dämpfung einer Verbindungsstelle von 0,05 dB, die man mit herkömmlichen Einzelfaserverbindungen erhält. In praktischer Hinsicht bedeuten diese Werte jedoch keine ernsthaften Probleme. Die Dämpfung in den Verbindungsstellen der Zwischenschicht ist größer als die Dämpfungen in den Verbindungsstellen der anderen Schichten. Es ist anzunehmen, daß dies durch Fluchtungsfehler der Faserachsen bewirkt wird, die in der Zwischenschicht größer als in den anderen Schichten sind. Falls die Dämpfung in den Verbindungsstellen dadurch vergrößert würde, daß der nicht vollkommen fokussierte Lichtstrahl wiederholt auch dann die optische Faser überstreicht, wenn sie nicht verschmolzen werden soll, so müßte die Dämpfung in den Verbindungsstellen der oberen bzw. Deckschicht am größten sein.

Tabelle 3 zeigt Versuchsergebnisse, mit denen zu beurteilen ist, ob die Dämpfung dadurch vergrößert wird, daß optische Fasern wiederholt dem Lichtstrahl ausgesetzt werden, auch wenn dabei die Fasern nicht verbunden, d. h. verschmolzen werden sollen. Die in der Tabelle angegebenen Werte für die Dämpfung von Verbin-

dingsstellen resultieren aus der mittleren Dämpfung von acht optischen Fasern, die in der gleichen Schicht liegen.

5 Tabelle 3

Dämpfung von Verbindungsstellen unmittelbar nach der Verschmelzung und nach der wiederholten Bestrahlung mit einem etwas unfokussierten Lichtstrahl nach dem Verschmelzungsprozeß

Schmelzdurchgänge	Schicht-Nr.		
	1. Schicht	2. Schicht	3. Schicht
1. Durchgang (die optischen Fasern der obersten (1.) Schicht wurden verschmolzen)	0,15 dB		
2. Durchgang (die optischen Fasern der 2. Schicht wurden verschmolzen)	0,16 dB*)	0,19 dB	
3. Durchgang (die optischen Fasern der 3. Schicht wurden verschmolzen)	0,14 dB*)	0,20 dB*)	0,18 dB

*) Diese Werte geben die gemessenen Dämpfungen der Verbindungsstellen nach mehrmaliger Bestrahlung mit einem etwas unfokussierten Lichtstrahl wieder.

Nach dem bisher beschriebenen Verfahren werden die optischen Fasern der obersten Schicht zuerst paarweise miteinander verschmolzen. Unmittelbar nach der Verschmelzung betrug die Dämpfung 0,15 dB. Anschließend wurden die optischen Fasern der zweiten, darunterliegenden Schicht dem Verschmelzungsprozeß unterzogen. Während dieses Verschmelzungsprozesses waren die optischen Fasern der ersten, d. h. der oberen Schicht wiederum dem fokussierten Lichtstrahl ausgesetzt, wobei der Durchmesser des Strahles etwas größer als bei der Verschmelzung selbst war. Die durchschnittliche Dämpfung jeder Verbindung von Fasern der ersten Schicht wurde nach der Verschmelzung der Fasern der zweiten Schicht erneut gemessen und betrug nun 0,16 dB. Die durchschnittliche Dämpfung der Verbindungsstellen der acht optischen Fasern der zweiten Schicht betrug 0,19 dB. Anschließend wurden die optischen Fasern der dritten, d. h. der untersten Schicht dem Verschmelzungsprozeß unterzogen. Auch in diesem Fall wurden die Fasern der ersten und zweiten Schicht dem fokussierten Lichtstrahl ausgesetzt, wobei der Durchmesser des Lichtstrahls im Bereich der ersten und zweiten Schicht bezogen auf den Durchmesser des Brennflecks ebenfalls vergrößert war. Die erneute Messung ergab, daß die durchschnittliche Dämpfung der Verbindungsstellen der Fasern der dritten Schicht 0,18 dB betrug, die durchschnittliche Dämpfung der Verbindungsstellen der Fasern der ersten und zweiten Schicht betrugen 0,14 dB bzw. 0,20 dB. Innerhalb der Meßgenauigkeit wurden damit für die durchschnittlichen Dämpfungen im wesentlichen die gleichen Werte erhalten. Man kann daher davon ausgehen, daß die wiederholte Durchstrahlung mit einem Lichtstrahl, der

nicht völlig fokussiert ist, kein Anwachsen der Dämpfung der Verbindungsstelle bewirkt.

Tabelle 3 zeigt dementsprechend weiterhin, daß die beschriebenen Bedingungen für die Fokussierung des Lichtstrahls sicherstellen, daß sogar dann, wenn optische Fasern schichtweise angeordnet sind und selektiv dem Verschmelzungsprozeß unterzogen werden, die Fasern nicht ungünstig beeinflusst werden, die bereits verschmolzen sind. Die durchschnittliche Biegefestigkeit der miteinander verbundenen optischen Fasern betrug ungefähr 500 g. Die Zeit, die für das Verbinden der 24 Faserpaare benötigt wurde, betrug ungefähr 60 Minuten, gemessen zwischen dem Zeitpunkt des Entfernens der Kunststoffumhüllung bis zum Ende des Verbindens.

Im folgenden wird eine Zweischichtverbindung näher erläutert. Die Vorrichtung entsprechend den Fig. 10 und 11 wurde so eingesetzt, wie es in Zusammenhang mit Fig. 3 näher erläutert wurde. Die Leistung des CO₂-Lasers 13 betrug 2,0 W. Eine asphärische Linse wurde zum Fokussieren des Lichtstrahls benutzt, wobei der kleinste Durchmesser des Brennflecks bzw. Fokus ungefähr 720 µm betrug. Für die Ausrichtung wurde ein Ausrichtblock entsprechend Fig. 12 benutzt, wobei die Schichten optischer Fasern etwa 1 mm voneinander entfernt waren. Die anderen Bedingungen entsprachen den Bedingungen, die im Zusammenhang mit der Verschmelzung in einer Schichtebene angegeben wurden. Da der Strahldurchmesser etwas zu klein war, betrug die mittlere Dämpfung einer Verbindung etwa 0,3 dB.

Da sich der Lichtstrahl so fokussieren läßt, daß sein Durchmesser relativ schnell anwächst, bezogen auf die aneinanderstoßenden Stirnflächen optischer Fasern, die miteinander zu verbinden sind, ist es nach dem erfindungsgemäßen Verfahren möglich, optische Fasern dem Verschmelzungsprozeß zu unterziehen, die in vielen Schichten angeordnet sind.

Da die optischen Fasern allmählich für das Verbinden erhitzt und abgekühlt werden, indem man die optischen Fasern und den fokussierten Lichtstrahl relativ zueinander bewegt, kann man Verspleißungen mit geringer Dämpfung in den Verbindungsstellen und einer befriedigenden Reproduzierbarkeit erhalten.

Lichtleiterkabel können miteinander verbunden werden, ohne daß die einzelnen Fasern gesondert herausgelöst werden müssen und der Verbindungsbereich kann als Ganzes in Form einer herkömmlichen Kabelmuffe verstärkt und umhüllt werden, was einen hohen betrieblichen Wirkungsgrad bedeutet. Da die Verbindung durch Verschmelzung die Verstärkung und Umhüllung der verbundenen optischen Fasern und die gegebenenfalls benötigte zusätzliche Länge für jedes Kabel ohne weiteres erzielt bzw. abgeschätzt werden kann, ist es möglich, ein größeres Volumen im Verbindungsteil der optischen Fasern zu vermeiden. Außerdem kann ein Anwachsen der Dämpfung in den Verbindungsstellen der Fasern durch die Verstärkung bzw. Umhüllung der Fasern und durch die Abschätzmöglichkeit von für die Verbindung benötigten zusätzlichen Faserlängen vermieden werden. Damit ist es möglich, Verbindungsstellen zu schaffen, bei denen die geringen Durchmesser optischer Fasern und die gute Dämpfungseigenschaft des Verschmelzungsprozesses beibehalten werden.

Im Gegensatz zur Verbindung mit Klebern ist die Alterung der Verbindungsstellen klein und ein erfindungsgemäß verbundenes Kabel besitzt bei hoher Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit eine lange Standzeit.

Da außerdem für die Erhitzung eine saubere Energiequelle benutzt wird, werden beim Verschmelzen der aneinanderstoßenden Stirnflächen der Fasern keine Verunreinigungen eingeschmolzen. Dies stellt ebenfalls eine hohe Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der Verbindungsstellen sicher.

Hierzu 8 Blatt Zeichnungen

FIG. 5

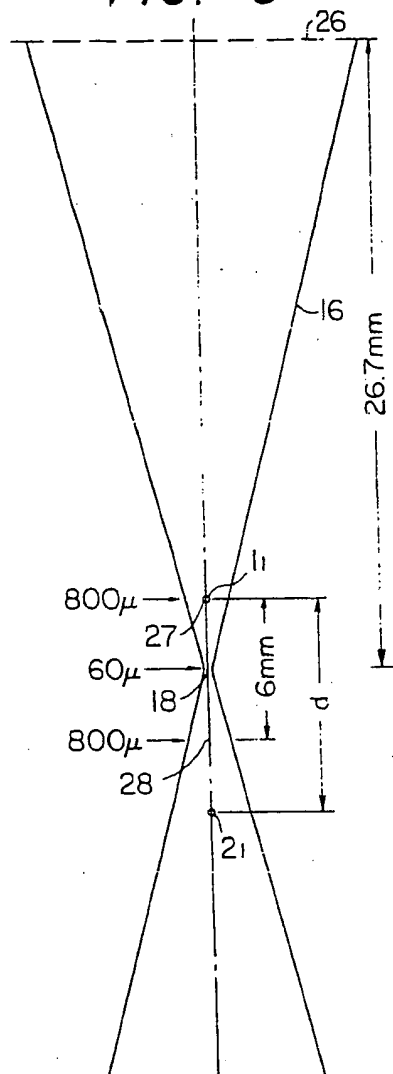


FIG. 6

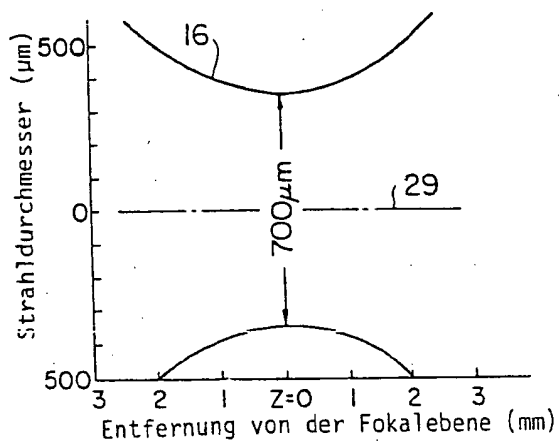


FIG. 7

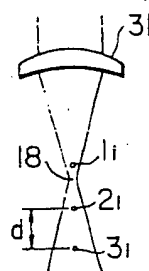


FIG. 8

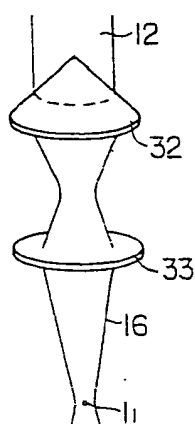


FIG. 9

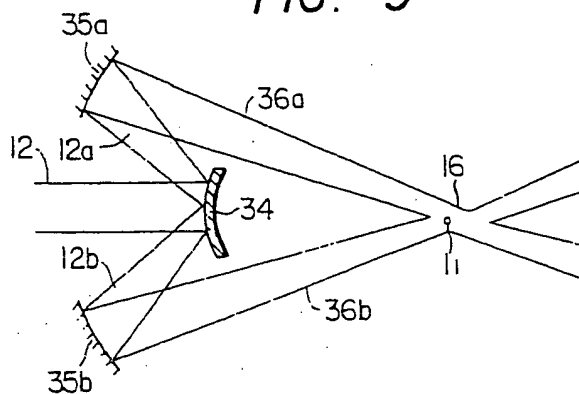


FIG. 10

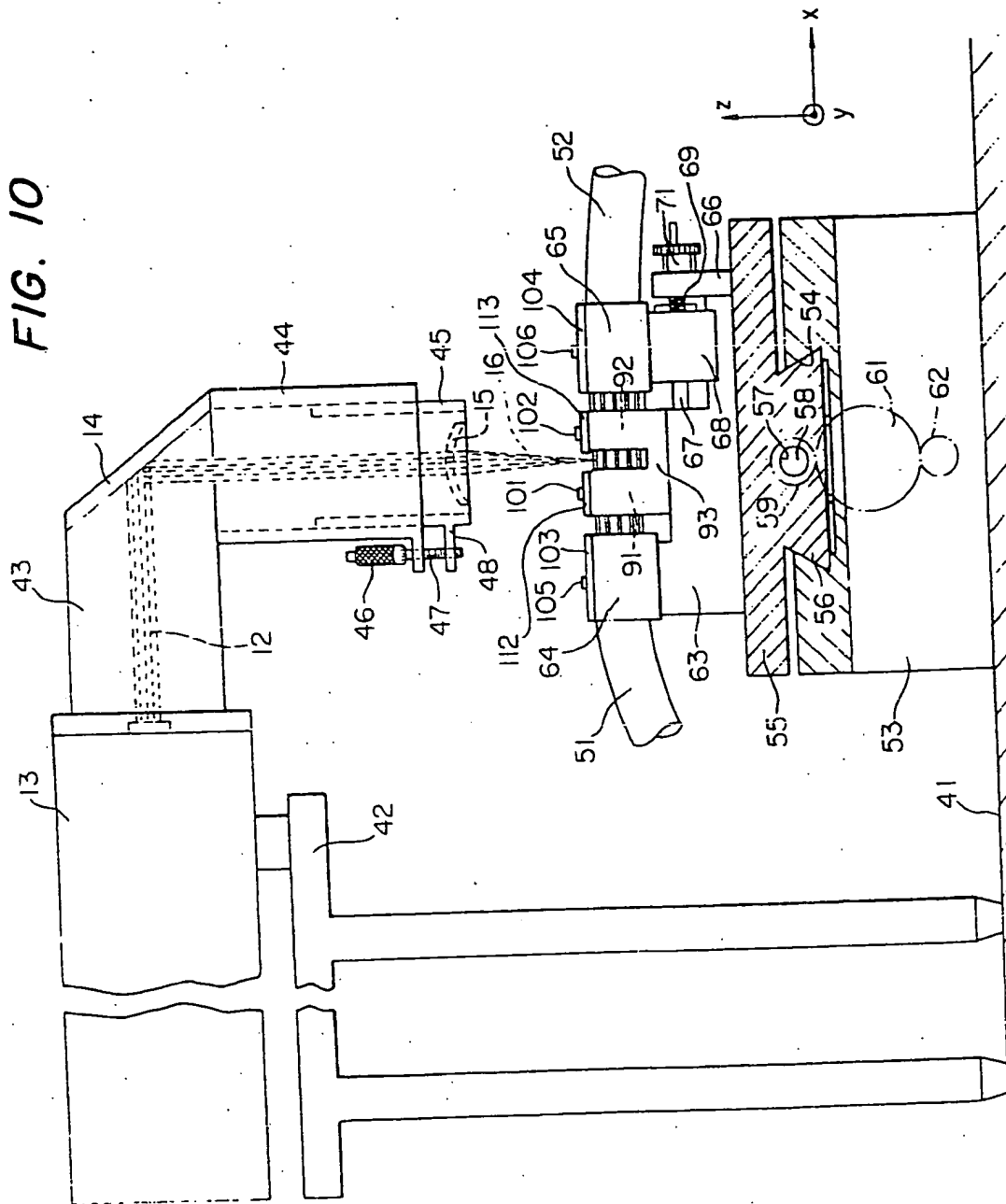


FIG. 12

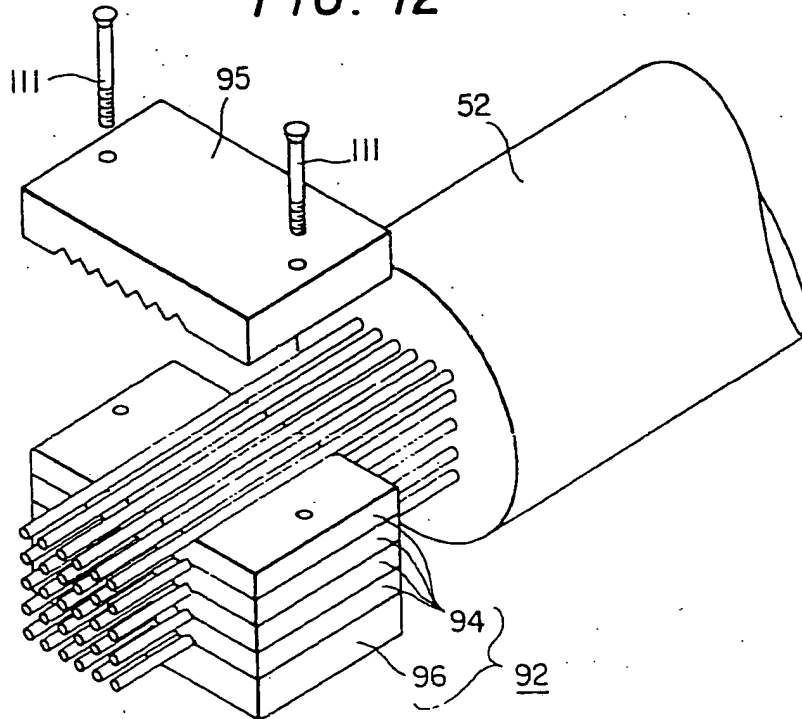


FIG. 13

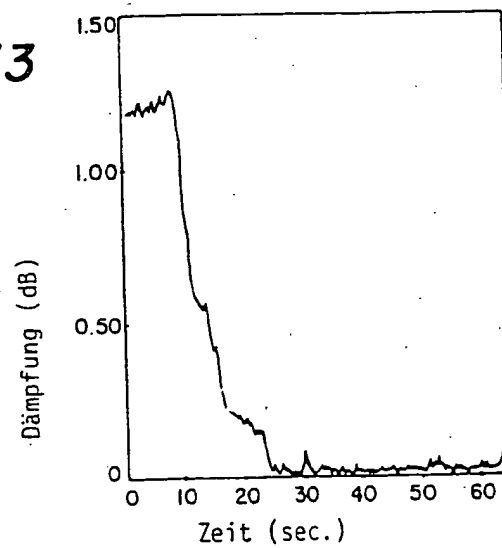


FIG. 14

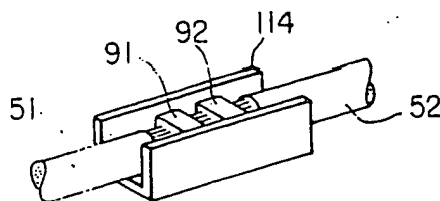


FIG. 15

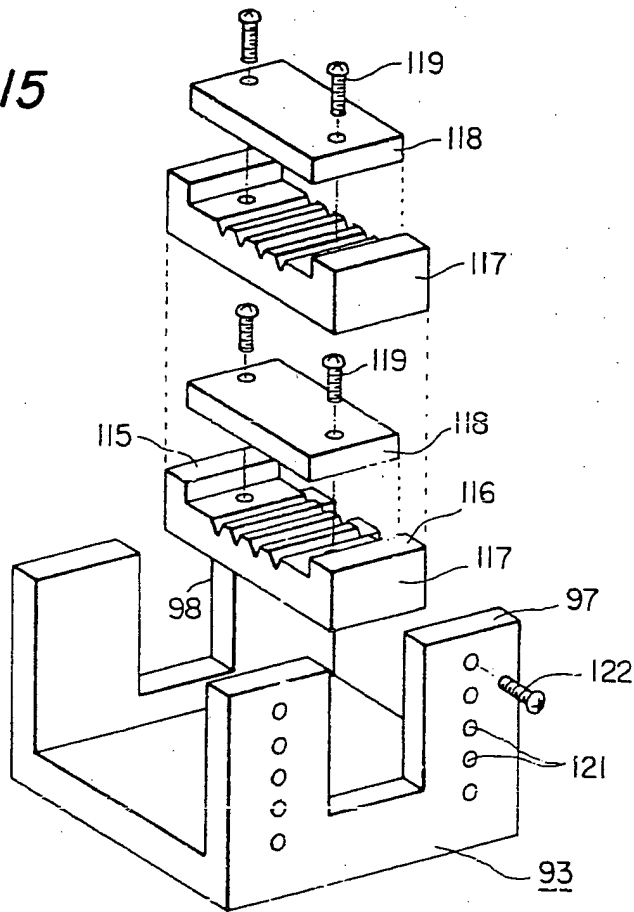
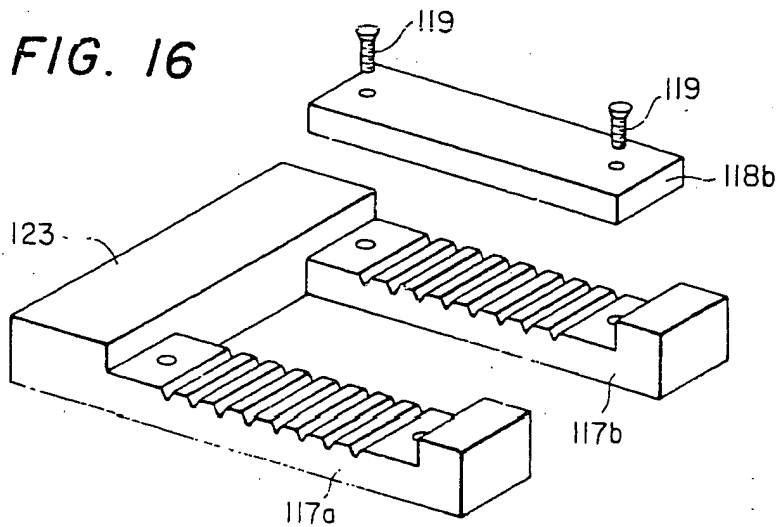


FIG. 16



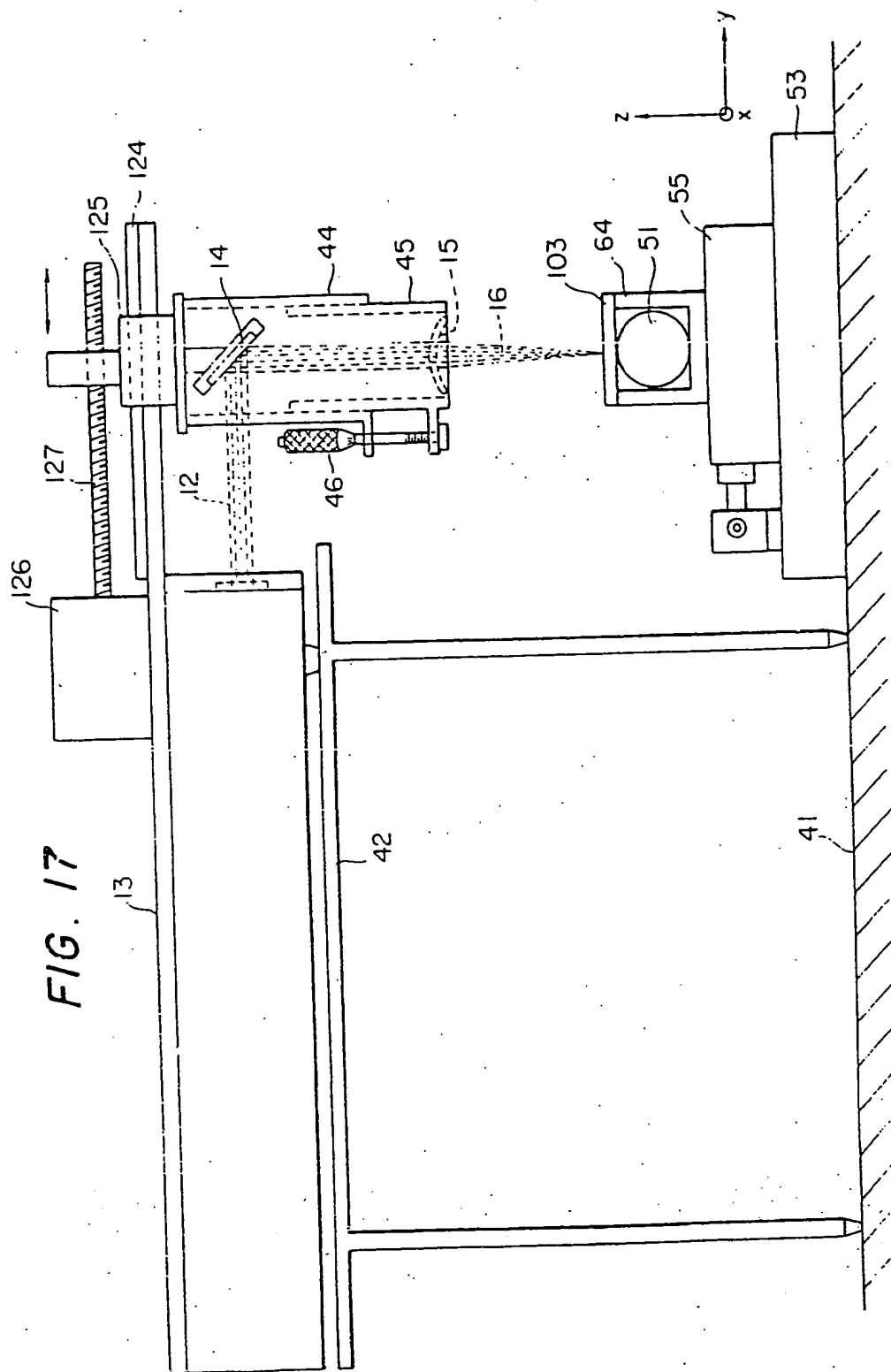


FIG. 18

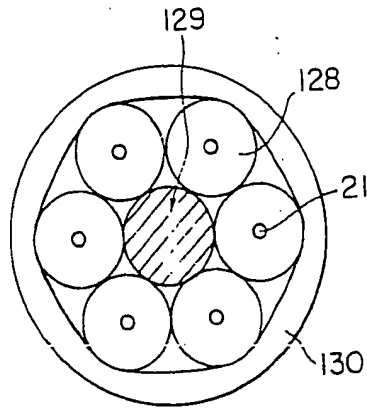


FIG. 19

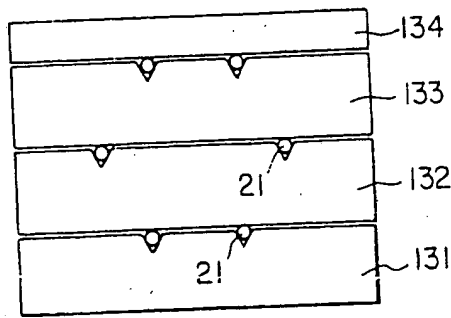


FIG. 20

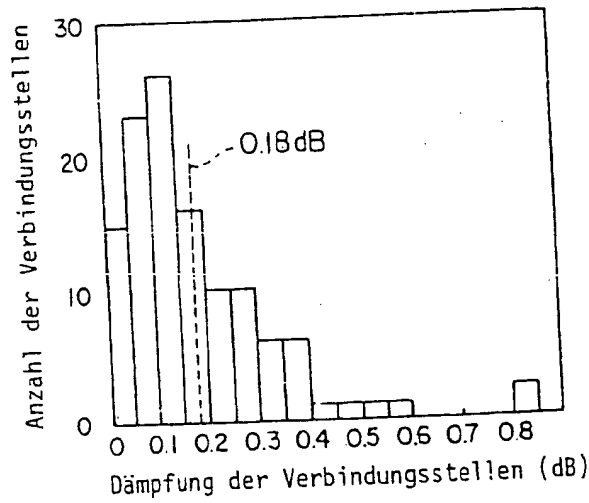
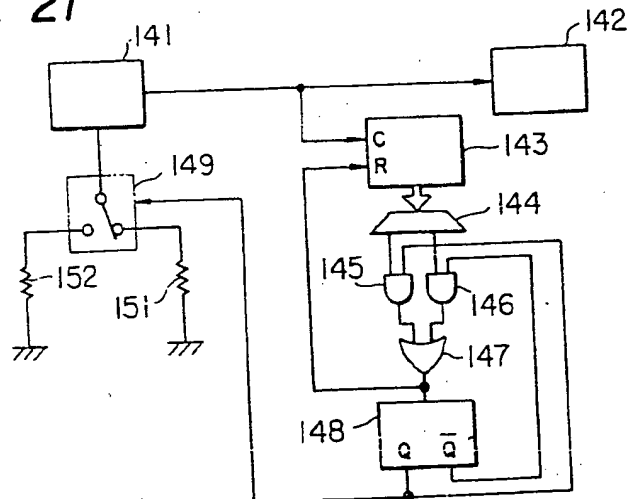


FIG. 21



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)